

Động cơ không đồng bộ 3 pha

1. Khái niệm

Động cơ không đồng bộ ba pha là loại máy điện xoay chiều, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, có tốc độ quay của roto n (tốc độ của máy) khác với tốc độ quay của từ trường n_1 .

Động cơ điện không đồng bộ ba pha so với các loại động cơ khác có cấu tạo và vận hành không phức tạp, giá thành rẻ, làm việc tin cậy nên được sử dụng nhiều trong sản xuất và sinh hoạt.



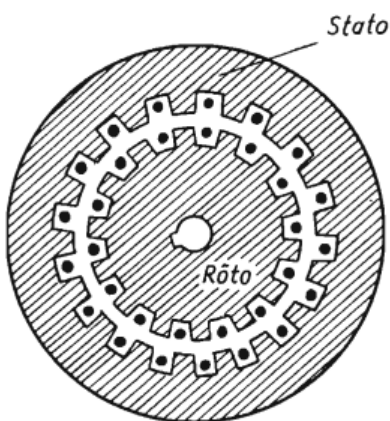
Động cơ không đồng bộ ba pha

Các thông số trên động cơ không đồng bộ 3 pha là:

- | | |
|---------------------------------|----------------|
| • Công suất cơ có ích trên trục | P_{dm} |
| • Điện áp dây stato | U_{dm} |
| • Dòng điện dây Stato | I_{dm} |
| • Tần số dòng điện stato | f |
| • Tốc độ quay roto | n |
| • Hệ số công suất | $\cos \varphi$ |
| • Hiệu suất | η |

2. Cấu tạo

Cấu tạo của máy điện không đồng bộ 3 pha gồm hai bộ phận chính là: stato và roto, ngoài ra còn có vỏ máy và nắp máy.



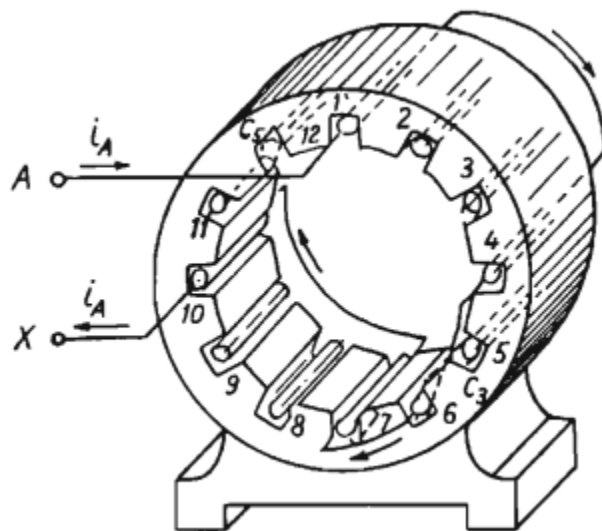
Mặt cắt ngang hai bộ phận chính của động cơ không đồng bộ 3 pha

2.1 Stato

Stato là phần tĩnh gồm hai phần chính là lõi thép và dây quấn, ngoài ra có vỏ máy và nắp máy.

a. Lõi thép

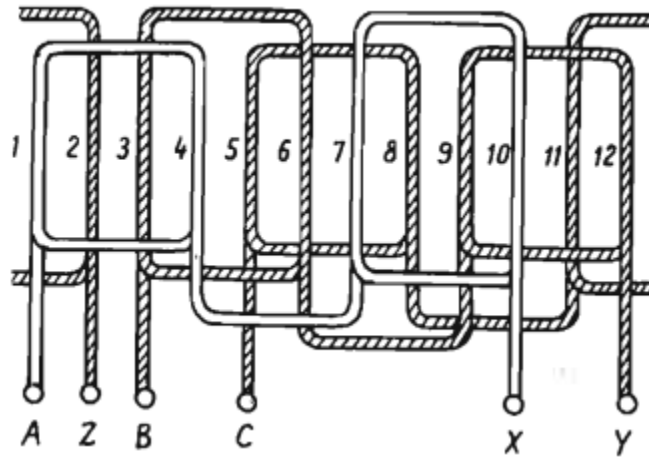
Lõi thép stato hình trụ do các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh bên trong, ghép lại với nhau tạo thành các rãnh theo hướng trục. Lõi thép được ép và bên trong vỏ máy.



Lõi thép stato có các rãnh hướng trục

b. Dây quấn

Dây quấn stato làm bằng dây quấn bọc cách điện (dây điện từ) được đặt trong các rãnh lõi thép. Hình dưới là sơ đồ triển khai dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh của stato, dây quấn pha A trong các rãnh 1, 4, 7, 10, pha B đặt trong các rãnh 2, 5, 8, 11, pha C đặt trong các rãnh 3, 6, 9, 12.



Sơ đồ triển khai dây quấn ba pha đặt trong 12 rãnh

Dòng điện xoay chiều ba pha chạy trong ba dây quấn stato sẽ tạo ra từ trường quay.

c. Vỏ máy

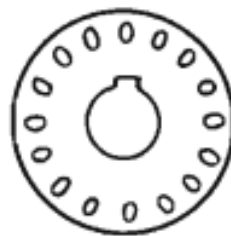
Vỏ máy làm bằng nhôm hoặc bằng gang, dùng để giữ chặt lõi thép và cố định máy trên bề mặt. Hai đầu vỏ có nắp máy, ở đỡ trục. Vỏ máy và nắp máy còn dùng để bảo vệ máy.

2.2 Roto

Roto là phần quay gồm lõi thép, dây quấn và trục máy.

a. Lõi thép

Lõi thép gồm các lá thép kỹ thuật điện được dập rãnh mặt ngoài ghép lại, tạo thành các rãnh theo hướng trục, ở giữa có lỗ để lắp trục.

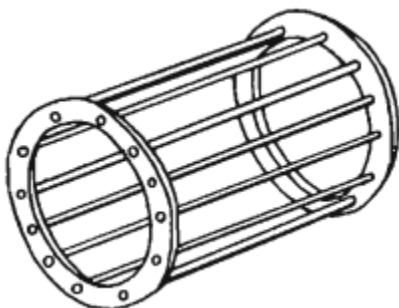


Mặt cắt ngang của lõi thép stato

b. Dây quấn

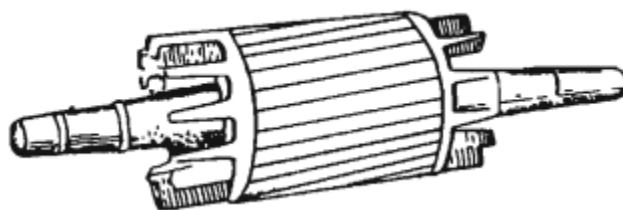
Dây quấn roto có hai kiểu: roto ngắn mạch (còn gọi là roto không đồng bộ lồng sóc) và roto dây quấn.

Động cơ điện có roto lồng sóc gọi là động cơ không đồng bộ lồng sóc. Loại roto lồng sóc công suất trên 100 kW, trong các rãnh của lõi thép roto đặt các thanh đồng, hai đầu nối ngắn mạch hai vòng đồng tạo thành các lồng sóc.



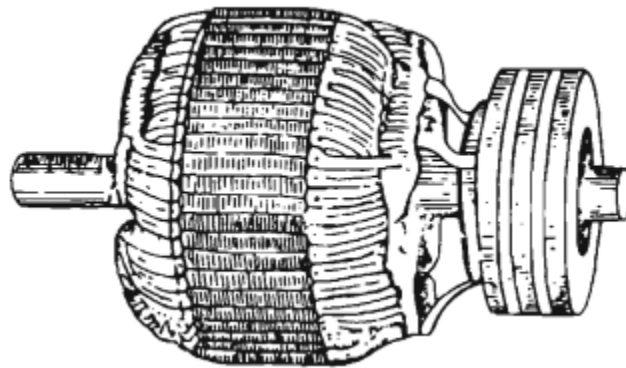
Roto lồng sóc công suất lớn

Ở động cơ roto lồng sóc công suất nhỏ được chế tạo bằng cách đúc nhôm vào các rãnh lõi thép roto, tạo thành thanh nhôm, hai đầu đúc ngắn mạch và cánh quạt làm mát.



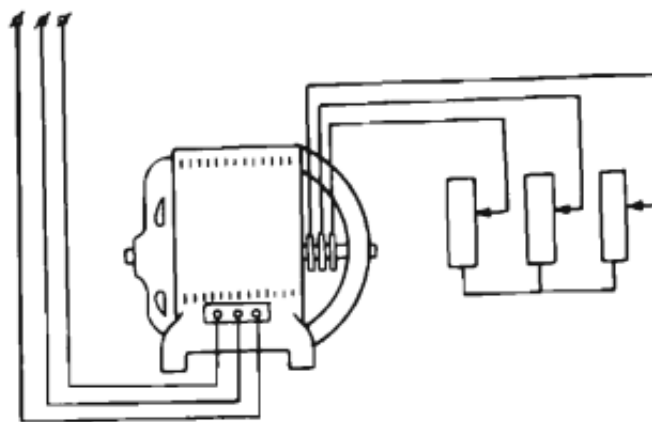
Roto lồng sóc công suất nhỏ

Loại động cơ có roto dây quấn gọi là động cơ không đồng bộ ba pha roto dây quấn. Trong rãnh lõi thép roto người ta đặt dây quấn ba pha. Dây quấn roto thường nối sao, ba đầu ra nối với ba vòng tiếp xúc bằng đồng, cố định trên trục roto và được cách điện với trục.



Roto dây quấn

Nhờ ba chổi than tì sát vào ba vòng tiếp xúc, dây quấn roto được nối với 3 vòng tiếp xúc, nhờ đó chổi than dây quấn roto nối được với ba biến trở bên ngoài để mở máy hay điều chỉnh tốc độ.



Dây quấn roto có thể nối với biến trở ngoài

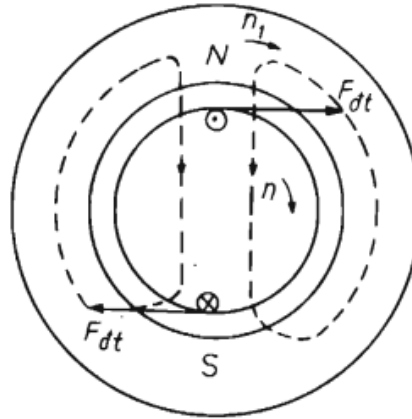
Động cơ lồng sóc là loại rất phổ biến do giá thành rẻ và làm việc đảm bảo. Động cơ roto dây quấn có ưu điểm về mở máy và điều chỉnh tốc độ song giá thành đắt và vận hành kém tin cậy hơn động cơ lồng sóc, nên chỉ được dùng khi động cơ lồng sóc không đáp ứng được các yêu cầu về truyền động.

3. Nguyên lý làm việc

Khi ta cho dòng điện ba pha tần số f vào ba pha dây quấn stato, sẽ tạo ra từ trường quay p đôi cực, quay với tốc độ $n_1 = 60 \frac{f}{p}$. Từ trường quay cắt các thanh dẫn của dây quấn roto, cảm ứng các sức điện động. Vì trong dây quấn roto nối ngắn mạch, nên sức điện động cảm ứng sinh sẽ sinh ra dòng điện chạy trong các thanh dẫn roto. Lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường qua của

máy với thanh dẫn mang dòng điện roto, kéo roto quay cùng chiều quay với từ trường với tốc độ n .

Để minh họa, hình bên dưới vẽ từ trường quay tốc độ n_1 , chiều sức điện động và dòng điện cảm ứng trong thanh dẫn roto, chiều vẽ lực điện từ F_{dt} .



Nguyên lý làm việc của động cơ không đồng bộ ba pha

Khi xác định chiều sức điện động cảm ứng theo quy tắc bàn tay phải, ta căn cứ vào chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn với từ trường. Nếu coi từ trường đứng yên, thì chiều chuyển động tương đối của thanh dẫn ngược với chiều n_1 , từ đó áp dụng quy tắc bàn tay phải, xác định được chiều suất điện động như hình vẽ (dấu \otimes chỉ chiều đi từ ngoài vào trang giấy).

Chiều lực điện từ xác định theo quy tắc bàn tay trái, trùng với chiều quay n_1 .

Tốc độ n của máy nhỏ hơn tốc độ từ trường quay n_1 vì nếu tốc độ bằng nhau thì không có sự chuyển động tương đối, trong dây quấn roto không có suất điện động do đó dòng điện cảm ứng, lực điện từ bằng không.

Độ chênh lệch giữa tốc độ từ trường quay và tốc độ máy gọi là tốc độ trượt n_2 .

$$n_2 = n_1 - n$$

Hệ số trượt của tốc độ là:

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

Khi roto đứng yên ($n = 0$), hệ số trượt $s = 1$; khi roto quay định mức $s = 0,02 \div 0,06$. Tốc độ động cơ là:

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s) \text{ vòng/phút}$$

4. Điều chỉnh tốc độ động cơ

Tốc độ động cơ điện không đồng bộ ba pha tính theo công thức:

$$n = \frac{60f}{p}(1 - s) \text{ vòng/phút}$$

Nhìn vào biểu thức ta thấy:

Với động cơ điện không đồng bộ lồng sóc có thể điều chỉnh tốc độ động cơ bằng cách thay đổi tần số dòng điện stato bằng cách đổi nối dây quấn stato để thay đổi số đôi cực từ p của từ trường, hoặc thay đổi điện áp đặt vào stato để thay đổi hệ số trượt s . Tất cả các phương pháp trên được thực hiện ở phía stato.

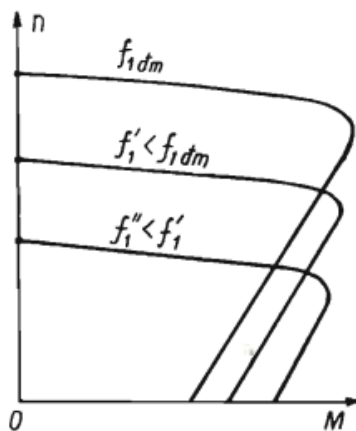
Với động cơ roto dây quấn thường được điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở roto để thay đổi hệ số trượt s , việc điều chỉnh thực hiện ở phía roto.

4.1 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tần số

Việc thay đổi tần số f của dòng điện stato thực hiện bằng bộ biến đổi tần số (**bộ biến tần**).

Như ta đã biết từ thông ϕ_{max} tỷ lệ thuận với tỉ số U_1/f , khi thay đổi tần số người ta mong muốn giữ cho từ thông ϕ_{max} không đổi, để mạch từ máy ở trạng thái định mức. Muốn vậy phải điều chỉnh đồng thời tần số và điện áp, giữ cho tỉ số giữa điện áp U_1 và tần số f không đổi.

Hình dưới vẽ họ đặc tính cơ của máy điện không đồng bộ 3 pha khi điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi tỉ số U_1/f không đổi.



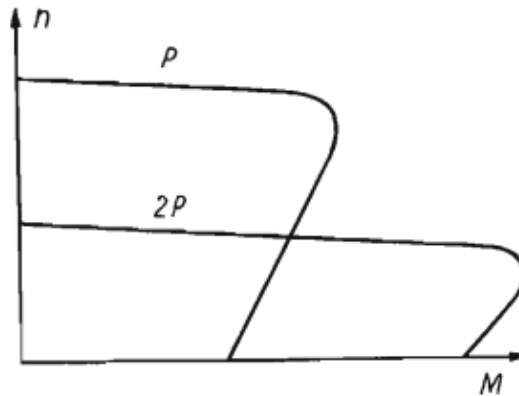
Đặc tính cơ của động cơ khi thay đổi tỉ số U/f

Việc điều chỉnh tốc độ quay bằng các thay đổi tần số thích hợp khi điều chỉnh cả nhóm động cơ lồng sóc. Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi tần số cho phép điều chỉnh ở tốc độ một cách bằng phẳng trong phạm vi rộng. Với sự phát triển vượt bậc của linh kiện điện tử thì giá thành các bộ biến tần ngày càng giảm. Các bộ biến tần được ứng dụng ngày càng rộng rãi.

4.2 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi số đôi cực

Số đôi cực của từ trường quay phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn. Máy điện không đồng bộ 3 pha có cấu tạo dây quấn để thay đổi số đôi cực từ được gọi là **động cơ không đồng bộ 3 pha nhiều cấp tốc độ**. Phương pháp này chỉ sử dụng cho loại roto lồng sóc.

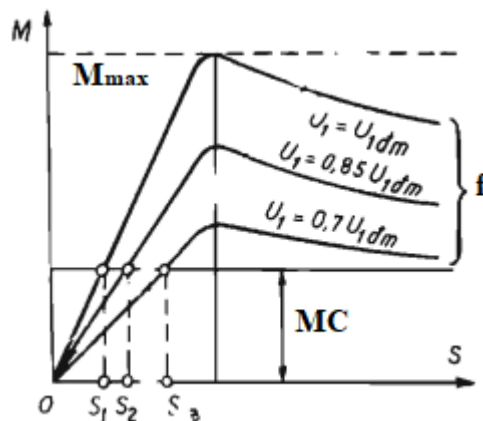
Mặc dù điều chỉnh tốc độ nhảy cấp, nhưng có ưu điểm là giữ nguyên độ cứng của đặc tính cơ, động cơ nhiều cấp tốc độ được sử dụng rộng rãi trong các máy luyện kim, máy tàu thủy, ...



Đặc tính của động cơ khi thay đổi số cặp cực

4.3 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện áp cung cấp cho stato

Phương pháp này chỉ được thực hiện trong việc **giảm điện áp**. Khi giảm điện áp đường đặc tính $M = f(s)$ sẽ thay đổi do đó hệ số trượt thay đổi, tốc độ động cơ thay đổi. Hệ số trượt s_1, s_2, s_3 ứng điện áp $U_{1dm}, 0,85 U_{1dm}$ và $0,7 U_{1dm}$.



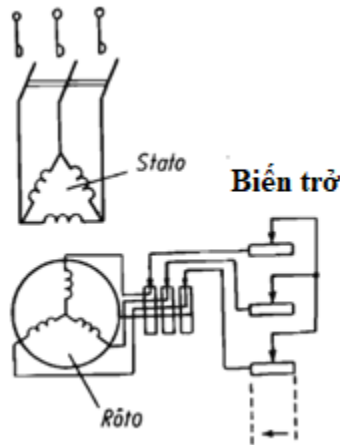
Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện áp cấp cho stato

Nhược điểm của phương pháp điều chỉnh tốc độ quay bằng điện áp là giảm khả năng quá tải của động cơ, dải điều chỉnh tốc độ hẹp, tăng tổn hao ở dây quấn roto. Việc điều chỉnh tốc độ

bằng thay đổi điện áp được dùng chủ yếu với các động cơ công suất nhỏ có hệ số trượt tới hạn S_{th} lớn.

4.4 Điều chỉnh tốc độ bằng cách thay đổi điện trở mạch roto

Phương pháp này chỉ áp dụng đối với động cơ roto dây quấn, người ta mắc biến trở ba pha vào mạch roto.



Điều chỉnh tốc độ bằng thay đổi điện trở roto

Biến trở điều chỉnh tốc độ phải làm việc lâu dài nên có kích thước lớn hơn so với biến trở mở máy. Khi tăng điện trở thì tốc độ quay của động cơ sẽ giảm.

Nếu moment cản, dòng roto không đổi, khi tăng điện trở để giảm tốc độ sẽ tăng tổn hao công suất trong biến trở, do đó phương pháp này không kinh tế. Tuy nhiên phương pháp đơn giản, điều chỉnh đơn và khoảng điều chỉnh tương đối rộng, được sử dụng điều chỉnh tốc độ quay của động cơ công suất cỡ trung bình.

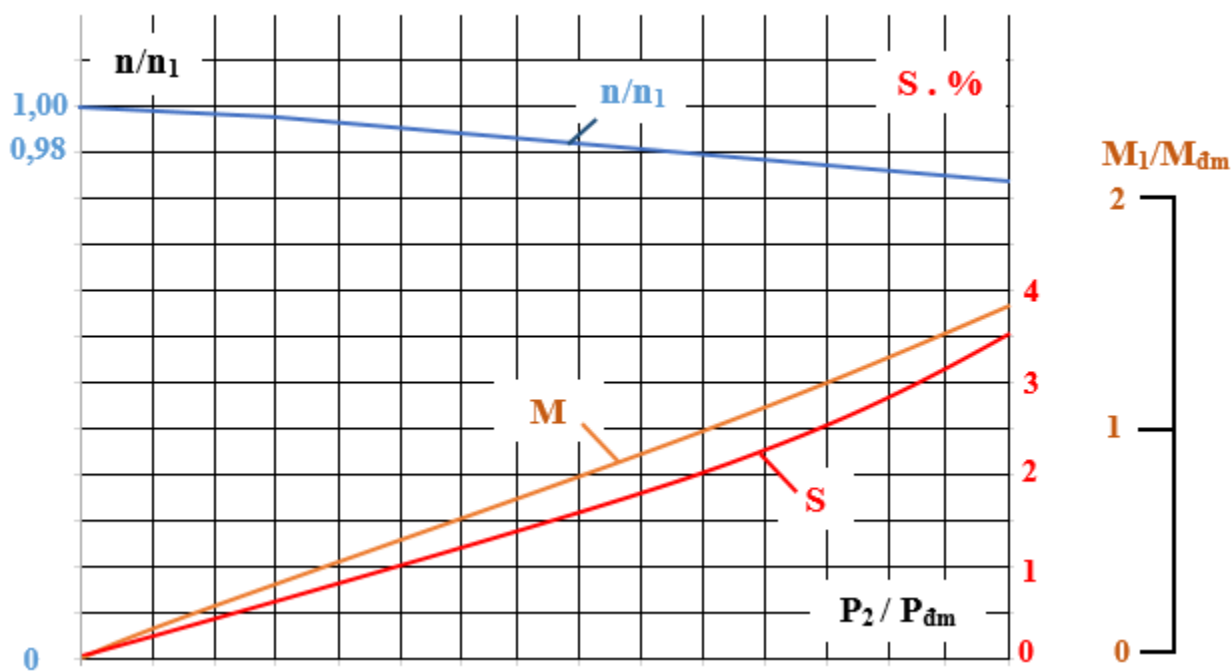
5. Đặc tính làm việc

5.1 Tốc độ quay n

Tốc độ quay có quan hệ với hệ số trượt s theo biểu thức:

$$n = 60 \frac{f}{p} (1 - s) \text{ với } s = 1 - \frac{n}{n_1}$$

Khi tải tăng, công suất P_2 trên trục động cơ tăng, moment cản tăng lên từ đó hệ số trượt s tăng lên và tốc độ động cơ giảm xuống (hình dưới).



Đặc tính tốc độ quay

5.2 Hiệu suất η

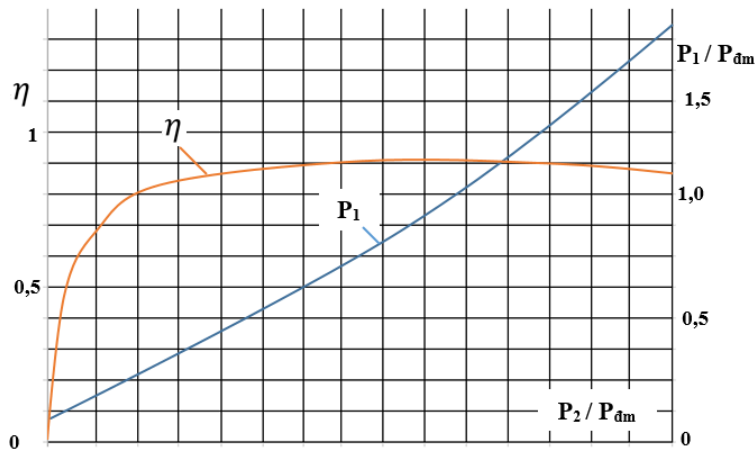
Hiệu suất động cơ được tính như sau:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P}$$

P_1 là công suất tác dụng điện động cơ tiêu thụ để biến đổi sang công suất cơ P_2 .

P_2 là công suất cơ hữu ích trên trục động cơ.

Động cơ không đồng bộ 3 pha thường được thiết kế sao cho hiệu suất cực đại khi hệ số tải $k_t = \frac{P_2}{P_{2dm}} \approx 0,7$. Trong khoảng $k_t = 0,5 \div 1$ hiệu suất hầu như không đổi (hình bên dưới). Hiệu suất động cơ công nghiệp khoảng $0,75 \div 0,95$.



Đặc tính hiệu suất

5.3 Hệ số công suất $\cos\varphi$

Hệ số công suất của máy điện không đồng bộ 3 pha là tỉ số giữa công suất tác dụng P_1 với công suất toàn phần S .

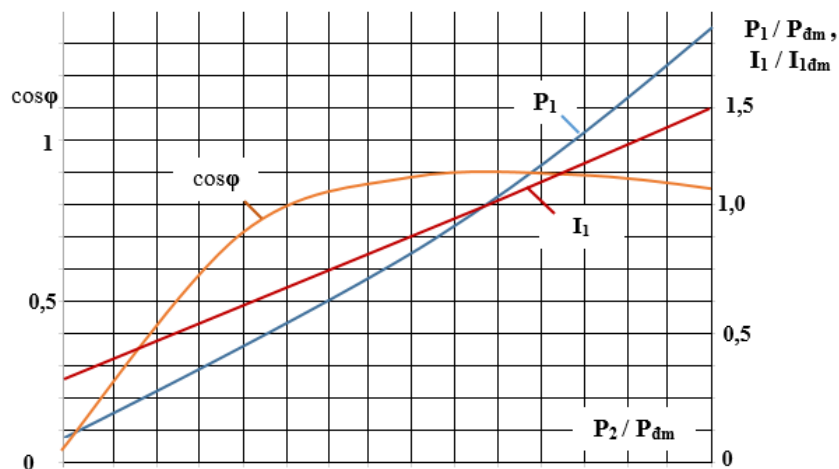
$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}$$

Q là công suất phản kháng mà động cơ tiêu thụ để tạo ra từ trường cho máy.

Khi máy quay không tải, công suất P_1 nhỏ, do đó $\cos\varphi$ thấp chỉ từ $0,2 \div 0,3$.

Khi tải tăng, công suất P_1 tăng và $\cos\varphi$ được tăng lên đạt đến giá trị định mức $\cos\varphi_{dm} = 0,8 \div 0,9$.

Khi quá tải, từ đường đặc tính $\cos\varphi$ ta thấy khi dòng điện vượt định mức (tức $I_1/I_{dm} > 1$) thì $\cos\varphi$ lại giảm xuống, do từ thông tản tăng, Q_1 tăng.



Đặc tính hệ số công suất $\cos\varphi$

Từ đặc tính $\cos\varphi$ ta thấy, không nên cho máy làm việc không tải hoặc non tải.

Ngoài ra qua các đồ thị ta thấy khi công suất P_2 tăng thì moment M và dòng điện stato I_1 đều tăng.

Tài liệu tham khảo

Kỹ thuật điện - Đặng Văn Đào, Kỹ thuật điện, 2003.

Động cơ đồng bộ

1. Định nghĩa và phân loại

1.1 Định nghĩa

Những máy điện xoay chiều có tốc độ quay roto n bằng tốc độ quay của từ trường n_1 gọi là máy điện đồng bộ. Máy điện đồng bộ có 2 dây quấn: dây quấn stato nối với lưới điện có tần số f không đổi, dây quấn roto được kích thích bằng dòng điện một chiều. Ở chế độ xác lập máy điện đồng bộ có tốc độ quay roto luôn không đổi khi tải thay đổi.



Động cơ đồng bộ

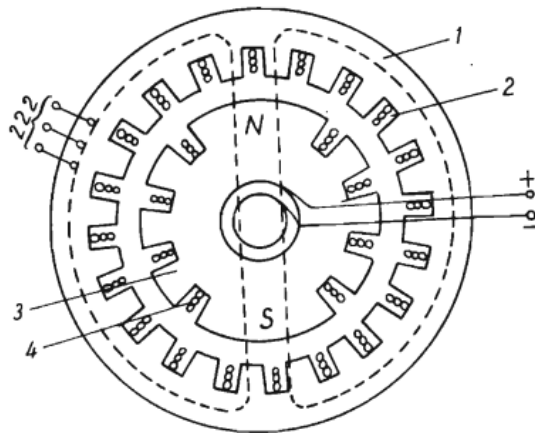
1.2 Công dụng

Động cơ đồng bộ được sử dụng khi truyền động công suất lớn, có thể đạt đến vài chục MW. Trong công nghiệp luyện kim, khai thác mỏ, thiết bị lạnh, động cơ đồng bộ được sử dụng để truyền động các máy bơm, nén khí, quạt gió,... với tốc độ không đổi. Động cơ đồng bộ công suất nhỏ được sử dụng trong các thiết bị như đồng hồ điện, dụng cụ tự ghi, thiết bị điện sinh hoạt, ...

Trong hệ thống điện, máy bù đồng bộ dùng để phát công suất phản kháng cho lưới điện để bù hệ số công suất và ổn định điện áp.

2. Cấu tạo máy điện đồng bộ

Cấu tạo máy điện đồng bộ gồm 2 bộ phận chính là stato và roto. Hình bên dưới vẽ mặt cắt ngang trục máy.



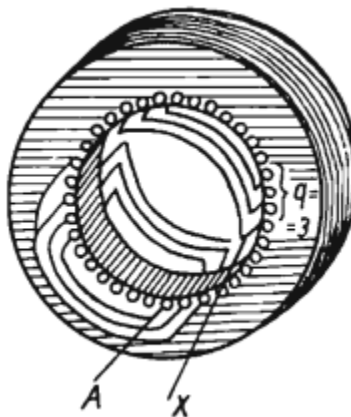
Mặt cắt ngang trục động cơ đồng bộ

Ghi chú:

- 1 : lá thép stato
- 2 : dây quấn stato
- 3 : lá thép roto
- 4 : dây quấn roto

2.1 Stato

Stato của động cơ đồng bộ giống như stato của máy điện không đồng bộ, gồm hai bộ phận chính là lõi thép stato và dây quấn ba pha stato. Dây quấn stato gọi là dây quấn phần ứng.

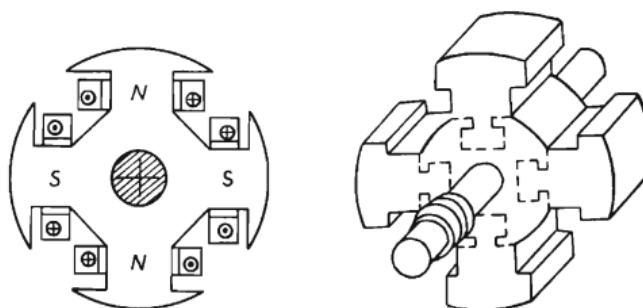


Stato động cơ đồng bộ

2.2 Roto

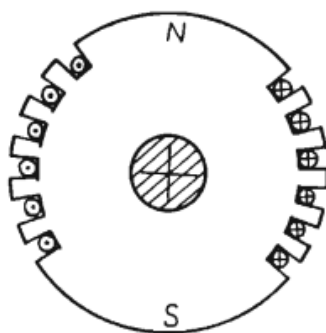
Roto động cơ đồng bộ có các cực từ và dây quấn kích từ dùng để tạo ra từ trường cho máy. Đối với máy nhỏ roto là nam châm vĩnh cửu. Có hai loại: roto cực ẩn và roto cực lồi.

- **Roto cực lồi** dùng ở các máy có tốc độ thấp, có nhiều đôi cực.



Roto cực lồi

- **Roto cực ẩn** thường dùng ở máy có tốc độ cao 3000 v/p, có một đôi cực.

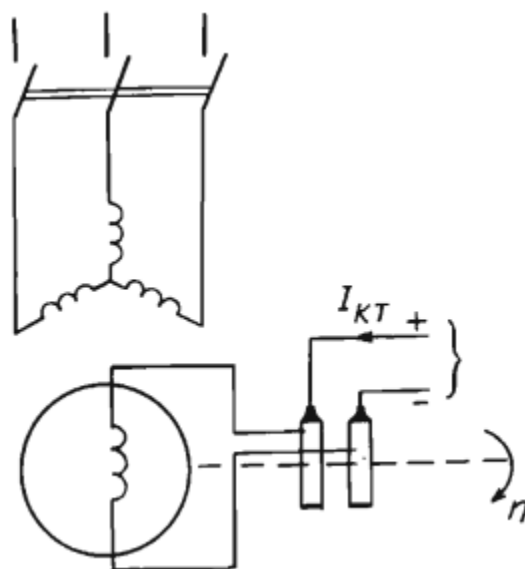


Roto cực ẩn

Để có suất điện động sin, từ trường của cực từ roto phải phân bố hình sin dọc theo khe hở không khí giữa stato và roto, ở đỉnh các cực từ có từ cảm cực đại.

Đối với roto cực ẩn, dây quấn kích từ được đặt trong các rãnh. Đối với roto cực lồi dây quấn kích từ quấn xung quanh thân cực từ.

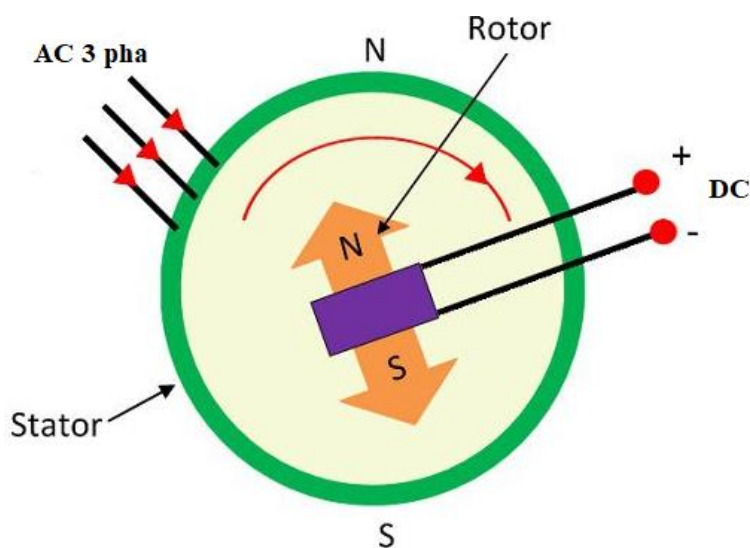
Hai đầu của dây quấn kích từ đi luôn trong trục và nối với hai vòng trượt đặt ở đầu trục, thông qua hai chổi điện để nối với nguồn kích từ.



Kích từ động cơ đồng bộ

3. Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ

Khi ta cho dòng điện ba pha vào ba dây quấn stato, dòng điện ba pha ở stato sẽ sinh ra từ trường quay với tốc độ $n_1=60f/p$. Ta hình dung từ trường quay stato như một thanh nam châm quay. Khi cho dòng điện một chiều vào dây quấn roto, roto biến thành một nam châm điện có cực từ không thay đổi.



Nguyên lý làm việc của động cơ điện đồng bộ [2]

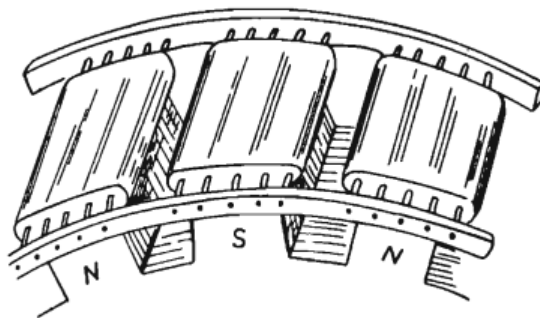
Tác dụng tương hỗ giữa từ trường stato và từ trường roto sẽ có lực tác dụng lên roto. Khi từ trường stato quay với tốc độ n_1 , lực tác dụng ấy sẽ kéo roto quay với tốc độ bằng tốc độ từ trường ($n = n_1$) nên được gọi là động cơ đồng bộ.

Như vậy khác với động cơ không đồng bộ, ở động cơ đồng bộ ta có roto được cấp nguồn điện một chiều độc lập nên vẫn có lực tác động tương hỗ giữa stato vào roto khi tốc độ động cơ bằng với tốc độ từ trường.

4. Mở máy động cơ điện đồng bộ

Khi cho dòng điện vào dây quấn stato sẽ tạo nên từ trường quay, có xu hướng kéo roto quay. Nhưng do roto có quán tính lớn nên vẫn đứng yên, do đó lực tác dụng tương hỗ giữa từ trường quay stato và từ trường cực từ thay đổi chiều, roto không thể quay được. Muốn động cơ làm việc phải tạo moment mở máy để roto quay đồng bộ với từ trường quay stato, giữ cho lực tác dụng tương hỗ giữa hai từ trường không đổi chiều.

Để tạo nên moment mở máy, trên các mặt cực từ roto, người ta đặt các thanh dẫn, được nối ngắn mạch như lồng sóc ở động cơ không đồng bộ.



Nối ngắn mạch roto tạo moment mở máy động cơ đồng bộ

Khi mở máy, nhờ có dây quấn mở máy ở roto, động cơ sẽ làm việc như động cơ không đồng bộ. Người ta chế tạo các động cơ, có hệ số mở máy $M_{mở}/M_{đm}$ từ $0,8 \div 1$.

Trong quá trình mở máy ở dây quấn kích từ sẽ cảm ứng điện áp rất lớn, có thể phá hỏng dây quấn kích từ, vì thế dây quấn kích từ sẽ được khép mạch qua điện trở phóng điện có trị số bằng $6 \div 10$ lần điện trở dây quấn kích từ. Khi roto đã quay đến tốc độ gần bằng tốc độ n_1 , đóng nguồn điện một chiều vào dây quấn kích từ, động cơ sẽ làm việc đồng bộ.

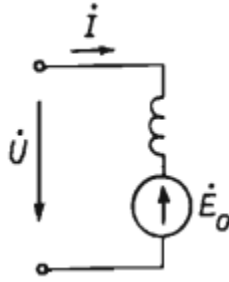
Với động cơ công suất nhỏ, khi mở máy có thể đóng trực tiếp dây quấn stato vào lưới điện.

Với động cơ công suất lớn khoảng $3 \div 5$ MW, phải hạn chế dòng mở máy bằng cách giảm điện áp đặt vào stato, thường người ta dùng điện kháng hay máy tự biến áp nối vào mạch stato.

Nhược điểm của động cơ điện đồng bộ là mở máy và cấu tạo phức tạp nên giá thành đắt so với động cơ điện không đồng bộ.

5. Điều chỉnh hệ số công suất $\cos\varphi$ của động cơ điện đồng bộ

Hình bên dưới sơ đồ thay thế động cơ điện đồng bộ được vẽ như.



Sơ đồ thay thế động cơ điện đồng bộ

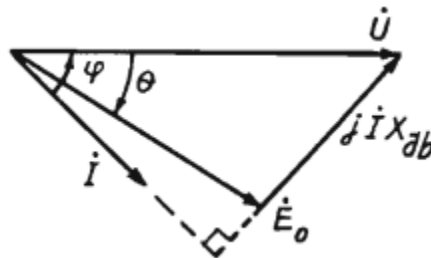
Ta có, phương trình điện áp là:

$$\dot{U} = \dot{E}_o + \dot{I}R + j\dot{I}X_{db} \quad [1]$$

Khi bỏ qua điện trở dây quấn stato ta có:

$$\dot{U} = \dot{E}_o + j\dot{I}X_{db}$$

Hình bên dưới vẽ đồ thị véc tơ ứng với trường hợp thiếu kích từ, dòng điện I chậm pha sau điện áp U . Khi sử dụng người ta không để động cơ làm việc ở chế độ này, vì động cơ tiêu thụ công suất phản kháng của lưới điện, làm cho hệ số công suất của lưới điện giảm xuống.



Đồ thị véc tơ trong trường hợp thiếu kích từ

Trong công nghiệp, người ta cho làm việc ở chế độ quá kích từ, dòng điện I vượt trước qua điện áp U , động cơ vừa tạo ra cơ năng, đồng thời phát ra công suất phản kháng nhằm nâng cao hệ số công suất của lưới điện. Đó là ưu điểm rất lớn của động cơ đồng bộ.

6. Lưu ý hòa lưới điện của các Máy Phát Điện đồng bộ

Các hệ thống điện gồm nhiều máy phát điện đồng bộ làm việc song song với nhau, tạo thành lưới điện. Công suất của lưới điện rất lớn so với công suất mỗi máy riêng lẻ, do đó điện áp cũng như tần số của lưới có thể giữ không đổi, khi thay đổi tải.

Để các máy làm việc song song, phải đảm bảo các điều kiện sau:

- Điện áp của máy phát phải bằng điện áp của lưới điện và trùng pha nhau.
- Tần số của máy phát phải bằng tần số của lưới điện.
- Thứ tự pha của máy phát phải giống thứ tự pha của lưới điện.

Nếu không đảm bảo các điều kiện trên, sẽ có dòng điện lớn chạy qua trong máy, phá hỏng máy và gây rối loạn hệ thống điện.

Để đóng máy phát điện vào lưới ta dùng thiết bị hòa đồng bộ.

Đối với máy phát điện công suất nhỏ, có thể đóng vào lưới bằng phương pháp tự đồng bộ như sau: dây quấn kích từ không đóng vào nguồn điện kích từ, mà khép qua điện trở phóng điện, để tránh xuất hiện điện áp cao, phá hỏng dây quấn kích từ. Quay roto đến gần tốc độ đồng bộ sau đó đóng máy phát vào lưới và cuối cùng sẽ đóng dây quấn kích từ vào nguồn điện kích từ, máy sẽ làm việc đồng bộ.

Tài liệu tham khảo

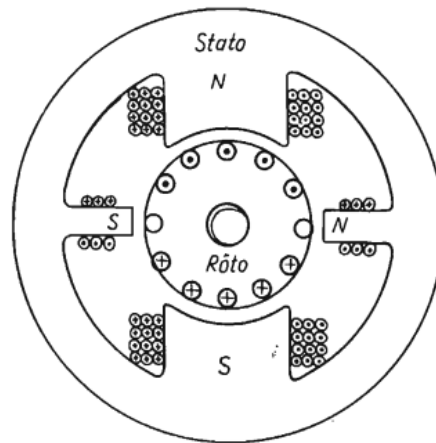
[1] L. V. D. Đặng Văn Đào, Kỹ thuật điện, 2003.

[2] "<https://circuitglobe.com/synchronous-motor.html>," 30/9/2020.

Động cơ một chiều

1. Cấu tạo động cơ điện một chiều

Những phần chính của máy điện một chiều gồm stato với cực từ, roto với dây quấn và cổ góp với chổi điện.



Cấu tạo động cơ một chiều

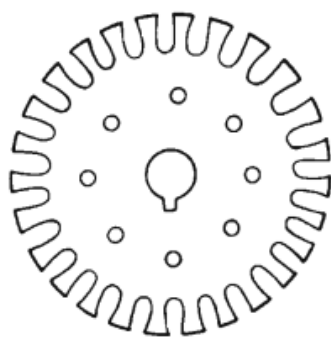
1.1 Stato

Stato là còn gọi là phần cảm, gồm lõi thép bằng thép đút, vừa là mạch từ vừa là vỏ máy. Các cực từ chính có dây quấn kích từ. Stato động cơ điện một chiều đóng vai trò đơn giản là nam châm vĩnh cửu hay nam châm điện.

1.2 Roto

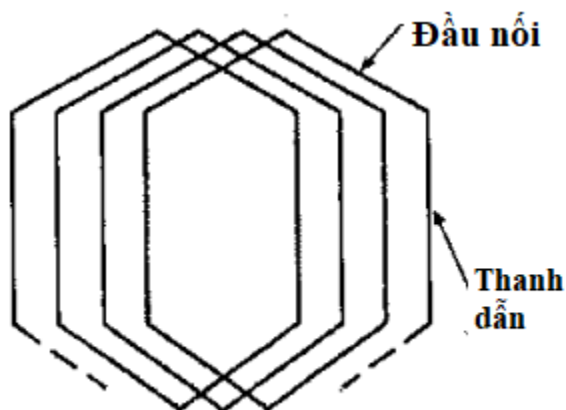
Roto của máy điện một chiều được gọi là phần ứng do cuộn dây phần ứng đặt trên rãnh roto.

Roto gồm lõi thép và dây quấn phần ứng. Lõi thép hình trụ làm bằng các lá thép kỹ thuật điện dày 0,5 mm, phủ sơn cách điện ghép lại. Các lá thép được dập có lỗ thông gió và rãnh để đặt dây quấn phần ứng.



Roto động cơ một chiều

Ở động cơ điện một chiều có hai loại dây quấn là **dây quấn xếp** và **dây quấn sóng**. Mỗi dây quấn được tạo thành từ nhiều cuộn mắc nối tiếp, mỗi cuộn lại được tạo nên từ nhiều vòng. Mỗi vòng gồm hai thanh dẫn nối với nhau bởi phần đầu nối.

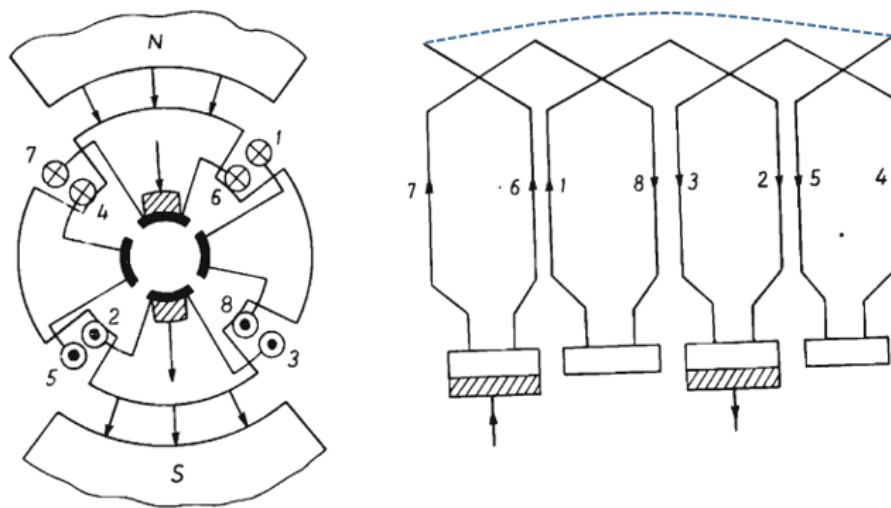


Dây quấn xếp [2]

- Dây quấn xếp

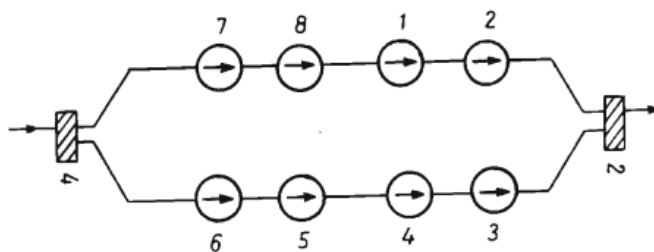
Mỗi phần tử của dây quấn có nhiều vòng dây, hai đầu với hai phiến góp, hai thanh dẫn tác dụng của phần tử dây quấn đặt trong rãnh dưới hai cực khác tên.

Hình bên dưới vẽ bốn phần tử dây quấn xếp hai lớp. Mỗi phần tử chỉ có một vòng, các phần tử được nối thành một vòng khép kín.



Dây quấn xếp 4 phần tử, hai lớp

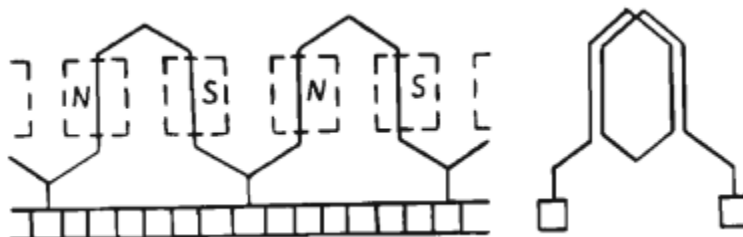
Ở dây quấn xếp đơn số nhánh song song bằng số cực từ (hoặc chổi than). Dây quấn trên có hai cực từ và có hai nhánh song song, được minh họa như hình dưới.



Dây quấn xếp hai cực từ

• Dây quấn sóng

Hình bên dưới vẽ hai phần tử dây quấn kiểu sóng. Các phần tử được nối thành mạch vòng kín. Ở dây quấn sóng đơn chỉ có hai mạch nhánh song song, thường ở máy có công suất nhỏ.



Dây quấn sóng

1.3 Cổ góp và chổi điện

Cổ góp gồm các phiến góp bằng đồng ghép cách điện, có dạng hình trụ, gắn ở đầu roto. Các đầu dây của phần tử nối với phiến góp khác nhau trên cổ góp.



Cổ góp

Chổi điện (chổi than) làm bằng than graphit. Các chổi tì sát chặt lên cổ góp nhờ lò xo và giá chổi điện gắn trên nắp máy.



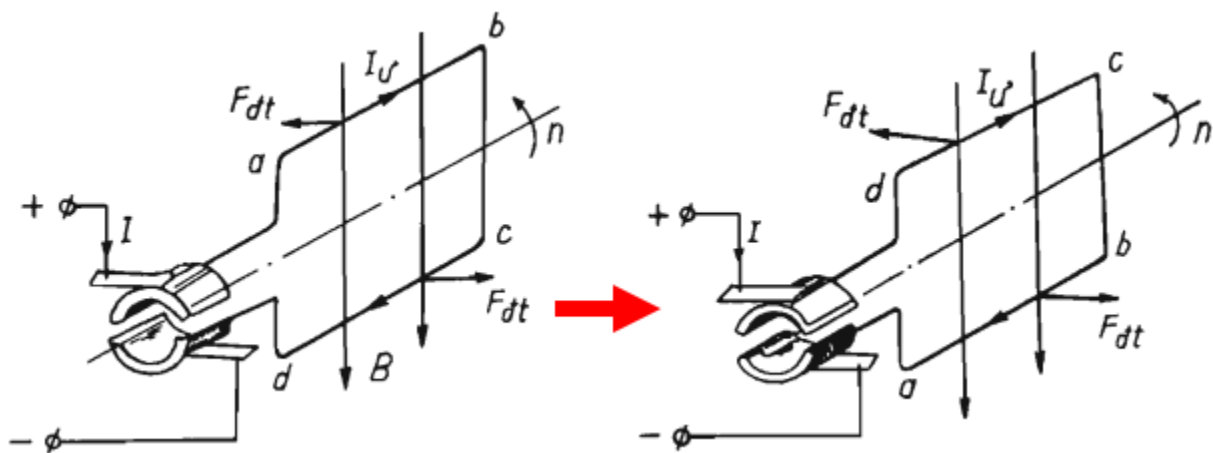
Chổi than

2. Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Khi cho điện áp một chiều U vào hai chổi điện A và B trong dây quấn phần ứng có dòng điện I_{ur} . Các thanh dẫn ab, cd có dòng điện nằm trong từ trường của stato, sẽ chịu lực F_{dt} tác dụng làm cho roto quay.

Khi phần ứng quay được nửa vòng, vị trí các thanh dẫn ab, cd đổi chỗ nhau, do đó phiến góp đổi chiều dòng điện, giữ cho chiều lực tác dụng không đổi, đảm bảo động cơ có chiều quay không đổi.

Hình bên dưới mô tả nguyên lý của động cơ điện một chiều.



Nguyên lý làm việc của động cơ điện một chiều

Khi động cơ quay, các thanh dẫn cắt từ trường, sẽ cảm ứng sức điện động E_u . Chiều sức điện động xác định theo quy tắc bàn tay phải. Ở động cơ chiều sức điện động E_u ngược chiều với dòng điện I_u nên E_u còn được gọi là **sức phản điện**.

Phương trình điện áp sẽ là:

$$U = E_u + R_u I_u$$

3. Từ trường và sức điện động của động cơ điện một chiều

3.1 Từ trường

- Khi máy điện một chiều không tải, từ trường trong máy chỉ do dòng điện kích từ gây ra gọi là **từ trường cực từ**.
- Khi máy điện có tải, dòng điện I_u trong dây quấn phần ứng sẽ sinh ra **từ trường phản ứng**. Từ trường phản ứng vuông góc với từ trường cực từ.

Tác dụng của từ trường phản ứng lên từ trường cực từ gọi là phản ứng phần ứng. **Từ trường trong máy là từ trường tổng hợp** của từ trường cực từ và từ trường phản ứng.

- Ở nơi từ trường phản ứng cùng chiều với từ trường cực từ thì từ trường máy được tăng cường.
- Ở nơi từ trường phản ứng ngược chiều với từ trường cực từ thì từ trường máy bị yếu đi.

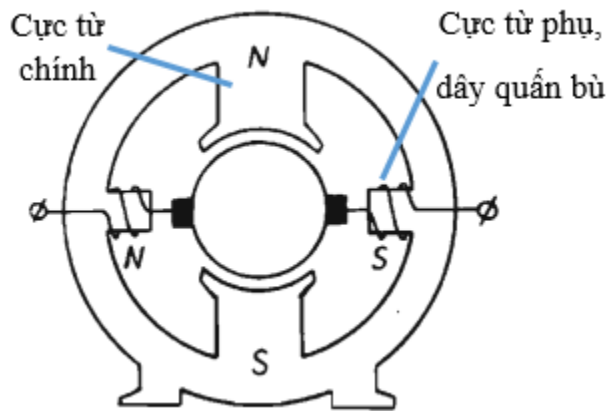
Hậu quả của phản ứng phần ứng là:

- Từ trường trong máy bị biến dạng. Làm cảm ứng sức điện động, gây ảnh hưởng xấu đến việc đổi chiều.

- Khi tải lớn, dòng điện phản ứng lớn, từ trường phản ứng lớn làm giảm từ thông của máy. Từ thông giảm làm cho moment quay giảm và tốc độ động cơ thay đổi.

Để khắc phục hậu quả trên người ta dùng **cực từ phụ** và **dây quấn bù**. Từ trường của cực từ phụ và dây quấn bù ngược với từ trường phản ứng.

Để kịp thời khắc phục từ trường phản ứng khi tải thay đổi, dây quấn cực từ phụ và dây quấn bù đấu nối tiếp với mạch phản ứng (hình dưới).



Cực từ phụ và dây quấn bù

3.2 Sức điện động phản ứng

a. Sức điện động thanh dẫn

Khi quay roto, các thanh dẫn của dây quấn phản ứng cắt từ trường, trong mỗi thanh dẫn cảm ứng sức điện động là:

$$e = B_{tb} \cdot l \cdot v$$

trong đó:

B_{tb} - từ cảm trung bình dưới cực từ

v - tốc độ của thanh dẫn

l - chiều dài hiệu dụng của thanh dẫn

b. Sức điện động phản ứng E_r

Dây quấn phản ứng gồm nhiều phần tử nối tiếp nhau thành mạch vòng kín. Các chổi điện chia dây quấn thành nhiều nhánh song song. Sức điện động phản ứng bằng tổng các sức điện động thanh dẫn trong một nhánh.

Nếu số thanh dẫn của dây quấn là N , số nhánh song song là $2a$ (a là số đôi nhánh), số thanh dẫn một nhánh là $N/2a$, **sức điện động phần ứng là:**

$$E_u = \frac{N}{2a} e = \frac{N}{2a} B_{tb} l v$$

Tốc độ dài v xác định theo tốc độ quay n (vòng/phút) bằng công thức:

$$v = \frac{\pi D n}{60}$$

Ta có từ thông dưới mỗi cực từ là:

$$\phi = B_{tb} \cdot \frac{\pi D l}{2p}$$

Từ đó ta có được công thức liên hệ của **suất điện động phần ứng:**

$$E_u = \frac{pN}{60a} n \cdot \phi \text{ hay } E_u = k_E \cdot n \cdot \phi$$

trong đó hệ số $k_E = \frac{pN}{60a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn phần ứng.

Sức điện động phần ứng tỉ lệ với tốc độ quay phần ứng và từ thông dưới mỗi cực từ. Muốn thay đổi trị số sức điện động ta có thể điều chỉnh tốc độ quay hoặc điều chỉnh từ thông bằng cách điều chỉnh dòng điện kích từ. Muốn đổi chiều sức điện động thì đổi chiều quay hoặc đổi chiều dòng điện kích từ.

4. Công suất điện từ, moment điện từ của máy điện một chiều

Công suất điện từ của máy điện một chiều là:

$$P_{dt} = E_u \cdot I_u$$

Gọi ω_r là **tốc độ góc** của roto, ω_r được tính theo tốc độ quay n (vòng/phút) bằng biểu thức:

$$\omega_r = \frac{2\pi n}{60}$$

Ta có, **Moment điện từ**

$$M_{dt} = \frac{P_{dt}}{\omega_r}$$

$$\Leftrightarrow M_{dt} = \frac{E_u I_u}{\omega_r}$$

$$\Leftrightarrow M_{dt} = \frac{p \cdot N\Phi}{2\pi a} I_{ur} \quad \text{hay} \quad M_{dt} = k_M I_{ur} \Phi$$

Trong đó hệ số $k_M = \frac{p \cdot N}{2\pi a}$ phụ thuộc vào cấu tạo dây quấn

Moment điện từ tỉ lệ với dòng điện phản ứng I_{ur} và từ thông. Muốn thay đổi moment điện từ, ta phải thay đổi dòng điện phản ứng I_{ur} hoặc thay đổi dòng điện kích từ I_{kt} . Muốn đổi chiều moment điện từ phải đổi chiều dòng điện phản ứng hoặc dòng điện kích từ.

5. Tia lửa điện trên cổ góp và biện pháp khắc phục

Khi máy điện làm việc, quá trình đổi chiều thường gây ra tia lửa giữa chổi điện và cổ góp. Tia lửa lớn có thể gây nên vành lửa xung quanh cổ góp, phá hỏng chổi điện và cổ góp, gây tổn hao năng lượng, ảnh hưởng xấu đến môi trường và gây nhiễu đến sự làm việc của các thiết bị điện tử. Sự phát sinh tia lửa trên cổ góp do các nguyên nhân cơ khí và điện từ.

5.1 Nguyên nhân cơ khí

Sự tiếp xúc giữa cổ góp và chổi điện không tốt, do cổ góp không tròn, không nhẵn, chổi than không đúng quy cách, rung động của chổi than do cổ định không tốt hoặc lực lò xo không đủ để tì sát chổi điện vào cổ góp.

5.2 Nguyên nhân điện từ

Khi roto quay liên tiếp có phần tử chuyển mạch nhánh này sang mạch nhánh khác. Ta gọi các phần tử ấy là phần tử đổi chiều. Trong phần tử đổi chiều xuất hiện các sức điện động sau:

- Sức điện động tự cảm e_L do sự biến thiên dòng điện trong phần tử đổi chiều.
- Sức điện động hồ cảm e_M do sự biến thiên dòng điện của các phần tử đổi chiều khác lân cận.
- Sức điện động e_q do từ trường của phần ứng gây ra.

Ở thời điểm chổi điện ngắn mạch phần tử đổi chiều, các sức điện động trên sinh ra dòng điện i chạy quanh trong phần tử ấy, tích lũy năng lượng và phóng ra dưới dạng tia lửa khi vành góp chuyển động.

5.3 Biện pháp khắc phục tia lửa điện

Ngoài việc loại trừ nguyên nhân cơ khí ta phải tìm cách giảm trị số các sức điện động trên và dùng cực từ phụ và dây quấn bù để tạo nên trong phần tử đổi chiều các sức điện động nhằm bù (triệt tiêu) tổng 3 sức điện động e_L , e_M , e_q .

Từ trường của dây quấn bù và cực từ phụ phải ngược chiều với từ trường phản ứng. Đối với máy công suất nhỏ, người ta không dùng cực từ phụ mà đôi khi chuyển chổi than đến trung tính vật lý.

Để khắc phục hiện tượng tia lửa điện người ta chế tạo động cơ một chiều không chổi than (BLDC) chúng ta sẽ tìm hiểu ở chương sau, tuy nhiên việc điều khiển động cơ BLDC phức tạp hơn.

6. Mở máy động cơ điện một chiều

Ta có dòng điện phản ứng là:

$$I_{\text{ur}} = \frac{U - E_{\text{ur}}}{R_{\text{ur}}}$$

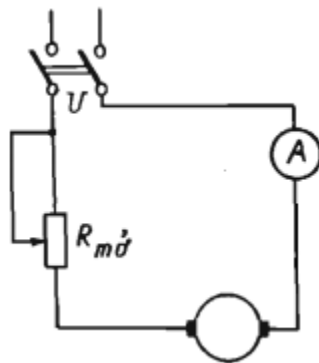
Khi mở máy, tốc độ $n = 0$, sức điện động $E_{\text{ur}} = k_E \cdot n \cdot \Phi = 0$, dòng điện phản ứng lúc mở máy là:

$$I_{\text{ur mở}} = \frac{U}{R_{\text{ur}}}$$

Vì điện trở R_{ur} rất nhỏ, cho nên dòng điện phản ứng lúc mở máy rất lớn khoảng $(20 \div 30)I_{\text{đm}}$, làm hỏng cổ góp và chổi than. Dòng điện phản ứng lớn kéo theo dòng điện mở máy I mở lớn, làm ảnh hưởng đến lưới điện. Do đó cần giảm dòng điện mở máy để $I_{\text{mở}} = (1,5 \div 2)I_{\text{đm}}$.

6.1 Dùng biến trở mở máy

Mắc biến trở mở máy ($R_{\text{mở}}$) vào mạch phản ứng như hình bên dưới.



Mở máy động cơ dùng biến trở

Dòng điện mở máy phản ứng lúc này là:

$$I_{\text{ur mở}} = \frac{U}{R_{\text{ur}} + R_{\text{mở}}}$$

Lúc đầu để biến trở R mở lớn nhất, trong quá trình mở máy, tốc độ tăng lên, sức điện động E_u tăng và điện trở mở máy giảm dần đến không, máy làm việc đúng điện áp định mức.

6.2 Giảm điện áp đặt vào phần ứng

Phương pháp này được sử dụng khi có nguồn điện một chiều có thể điều chỉnh điện áp ví dụ nguồn một chiều chỉnh lưu.

Cần chú ý rằng để moment mở máy lớn, lúc mở máy phải có từ thông lớn nhất, vì các thông số mạch kích từ phải điều chỉnh sao cho dòng điện kích từ lúc mở máy lớn nhất.

7. Điều chỉnh tốc độ động cơ điện một chiều

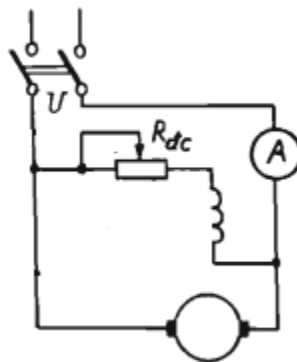
Ta có phương trình tốc độ của động cơ là:

$$n = \frac{U - R_u I_u}{k_E \Phi}$$

Dựa vào phương trình, một cách tổng quát ta có các phương pháp điều chỉnh tốc độ như sau:

7.1 Mắc điện trở điều chỉnh vào mạch phần ứng

Khi thêm điện trở vào mạch phần ứng, tốc độ giảm. Vì dòng điện phần ứng lớn, nên tổn hao công suất trên điện trở điều chỉnh lớn. Phương pháp này chỉ sử dụng ở động cơ công suất nhỏ.



Điều chỉnh tốc độ động cơ dùng điện biến trở

7.2 Thay đổi điện áp U

Dùng nguồn điện một chiều điều chỉnh được điện áp cung cấp cho động cơ. Ngày nay với sự phát triển của điện tử thì phương pháp điều chỉnh điện áp bằng các mạch điều xung (PWM - Pulse Width Modulation) ngày càng đa dạng khoảng điều chỉnh tốc độ rộng, với giá thành rẻ.

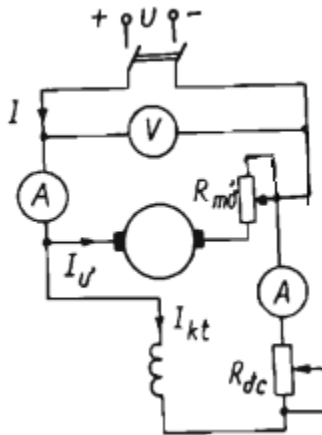
7.3 Thay đổi từ thông

Thay đổi từ thông bằng cách thay đổi dòng điện kích từ.

Khi điều chỉnh tốc độ, ta kết hợp các phương pháp trên. Ví dụ phương pháp thay đổi từ thông, kết hợp với phương pháp thay đổi điện áp thì phạm vi điều chỉnh rất rộng, đây là ưu điểm lớn của động cơ điện một chiều.

8. Động cơ kích từ song song

Sơ đồ kích từ song song được vẽ như hình dưới. Để mở máy ta dùng biến trở R mở.



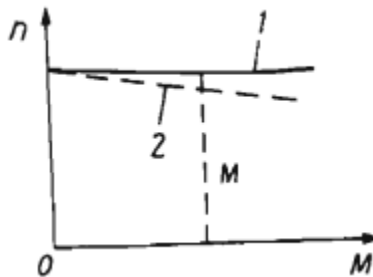
Sơ đồ động cơ kích từ song song

Để điều chỉnh tốc độ, thường điều chỉnh R_{dc} để thay đổi I_{kt} do đó thay đổi từ thông Φ , phương pháp này sử dụng rất rộng rãi.

Song theo biểu thức moment điện từ $M = k_M I_a \Phi$, cần chú ý **khi giảm từ thông Φ có thể dòng điện phản ứng I_a tăng quá trị số cho phép**. Vì thế cần có bộ phận bảo vệ, cắt điện không cho động cơ làm việc, khi từ thông giảm quá nhiều.

8.1 Đặc tính cơ $n = f(M)$

Đường đặc tính cơ là đường quan hệ giữa tốc độ n và moment quay M khi điện áp U và điện trở mạch phản ứng và mạch kích từ không đổi.

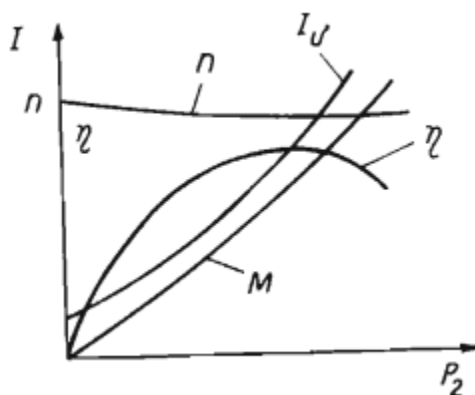


Đặc tính cơ của động cơ kích từ song song

- Đường số 1 vẽ đường đặc tính cơ tự nhiên.
- Đường số 2 vẽ đường đặc tính cơ khi thêm điện trở R_p vào mạch phản ứng.

8.2 Đặc tính làm việc

Đường đặc tính làm việc được xác định khi điện áp và dòng điện kích từ không đổi. Đó là các đường quan hệ giữa tốc độ n , moment M dòng điện phản ứng I_u và hiệu suất η theo công suất cơ trên trục P_2 .

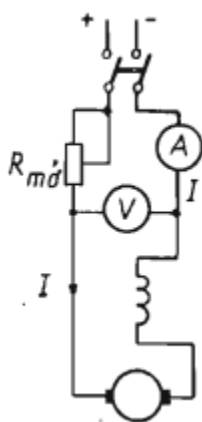


Đặc tính làm việc của động cơ kích từ song song

Nhận xét: động cơ điện kích từ song song có đặc tính cơ cứng và tốc độ hầu như không đổi khi công suất trên trục P_2 thay đổi, chúng được dùng nhiều trong các máy cắt kim loại, các máy công cụ ... Khi có yêu cầu cao về điều chỉnh tốc độ ta dùng động cơ kích từ độc lập.

9. Động cơ kích từ nối tiếp

Sơ đồ kích từ nối tiếp được vẽ như hình dưới.

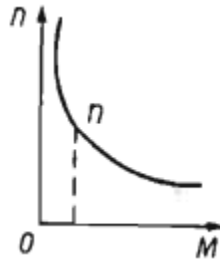


Sơ đồ động cơ kích từ nối tiếp

Để mở máy người ta dùng biến trở mở máy $R_{mở}$. Để điều chỉnh tốc độ ta có thể dùng phương pháp điều chỉnh điện áp hay thay đổi từ thông. Khi điều chỉnh từ thông, ta mắc biến trở điều chỉnh song song với dây quấn kích từ nối tiếp.

9.1 Đặc tính cơ $n = f(M)$

Phương trình đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp có dạng hypebol.

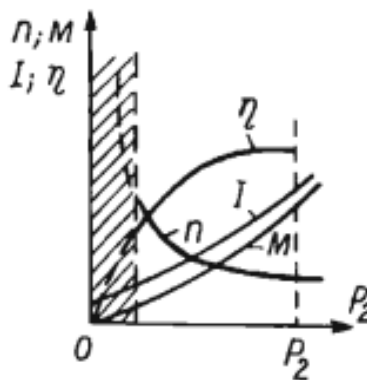


Đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp

Đường đặc tính cơ mềm, moment tăng thì tốc độ cơ giảm. Khi không tải hoặc tải nhỏ, dòng điện và từ thông nhỏ, tốc độ động cơ tăng có thể gây hỏng động cơ về mặt cơ khí. Vì thế không cho phép động cơ kích từ nối tiếp mở máy không tải hoặc nhỏ tải.

9.2 Đặc tính làm việc

Động cơ được phép làm việc với tốc độ n nhỏ hơn tốc độ giới hạn n_{gh} . Đường đặc tính trong vùng làm việc vẽ bằng đường nét liền.

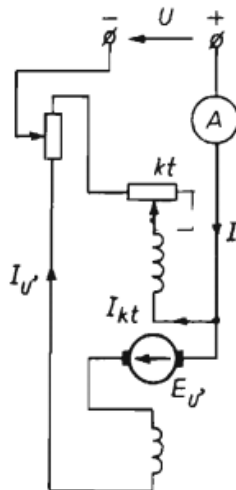


Đặc tính làm việc của động cơ kích từ nối tiếp

Khi chưa bão hòa, moment quay động cơ tỉ lệ với bình phương dòng điện, và tốc độ giảm theo tải. Động cơ kích từ nối tiếp thích hợp trong chế độ tải nặng nề, được sử dụng nhiều trong giao thông vận tải hay các thiết bị cầu trục.

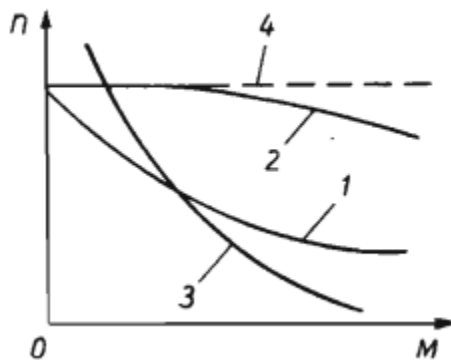
10. Động cơ kích từ hỗn hợp

Sơ đồ kích từ hỗn hợp được vẽ như hình bên dưới.



Sơ đồ động cơ kích từ hỗn hợp

Các dây quấn kích từ có thể nối thuận (từ trường hai dây quấn cùng chiều) tăng từ thông hoặc nối ngược (từ trường hai dây quấn ngược nhau) làm giảm từ thông.



Đặc tính động cơ kích từ hỗn hợp

- Đường 1 đường đặc tính cơ động cơ kích từ hỗn hợp khi nối thuận. Và sẽ là trung bình giữa đặc tính cơ của động cơ kích từ song song và nối tiếp.
- Đường 2 đặc tính cơ của động cơ kích từ song song.
- Đường 3 đặc tính cơ của động cơ kích từ nối tiếp.

Các động cơ làm việc nặng nề, dây quấn kích từ nối tiếp là dây quấn kích từ chính, còn dây quấn kích từ song song là phụ và được nối thuận. Dây quấn kích từ song song đảm bảo tốc độ động cơ không tăng quá lớn khi moment nhỏ.

- Đường 4 đặc tính của động cơ kích từ hỗn hợp có dây quấn kích từ nối tiếp là kích từ phụ, và nối ngược. Đặc tính cơ rất cứng, nghĩa là tốc độ hầu như không đổi khi moment thay đổi. Do khi moment quay tăng, dòng điện phản ứng tăng, dây quấn kích từ song song làm tốc độ giảm nhẹ. Nhưng vì có dây quấn kích từ nối tiếp được nối ngược, làm giảm từ thông trong máy, sẽ tăng tốc độ động cơ lên như cũ. Ngược lại khi nối thuận, sẽ làm cho đặc tính động cơ mềm hơn, moment mở máy lớn hơn, thích hợp với máy ép, máy bơm, máy nghiền, máy cán, ...

Tài liệu tham khảo

Kỹ thuật điện - Đặng Văn Đào, Kỹ thuật điện, 2003.

Máy điện tập 2 – Bùi Đức Hùng

Động cơ servo

1. Định nghĩa

Động cơ servo được sử dụng phổ biến nhất cho các thiết bị công nghệ cao trong các ứng dụng công nghiệp như công nghệ tự động hóa. Động cơ servo là một bộ truyền động quay hoặc tuyến tính cung cấp khả năng điều khiển vị trí chính xác nhanh chóng cho các ứng dụng điều khiển vị trí vòng kín.

Được thiết kế với đường kính nhỏ và chiều dài roto dài, tốc độ đáp ứng cao do quán tính thấp. Hoạt động trên cơ chế sử dụng phản hồi vị trí roto để điều khiển tốc độ và vị trí của động cơ. Động cơ servo sẽ bao gồm động cơ, mạch phản hồi, bộ điều khiển và mạch điện tử khác.

2. Phân loại

Về cơ bản, động cơ servo được phân loại thành động cơ servo AC và DC tùy thuộc vào nguồn cung cấp.

Động cơ DC servo được sử dụng cho các ứng dụng đơn giản do chi phí thấp, dễ sử dụng.

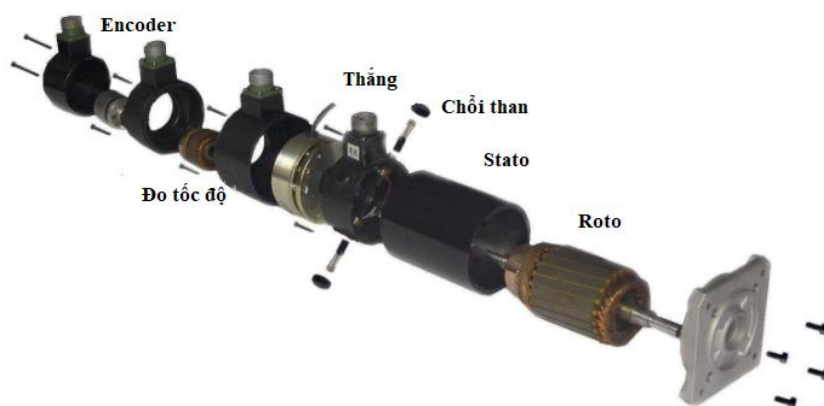
Với sự tiên bộ của bộ vi xử lý và điện tử công suất, động cơ AC servo được sử dụng thường xuyên hơn do khả năng điều khiển độ chính xác cao và có công suất lớn.

2.1 Động cơ DC servo



Động cơ DC servo

Cấu tạo một động cơ DC servo cơ bản bao gồm: động cơ một chiều và mạch phản hồi encoder. Ngoài ra tùy theo ứng dụng còn có thắng từ, hộp số, mạch điện tử.

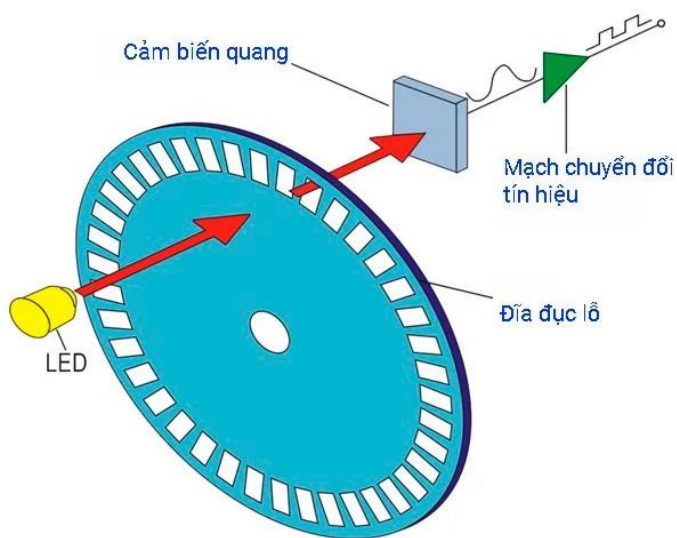


Cấu tạo động cơ DC servo

Stato là khung vỏ máy hình trụ có gắn các nam châm bên trong. Phía sau trục roto người ta có thể gắn đầu dò để đo tốc độ động cơ.

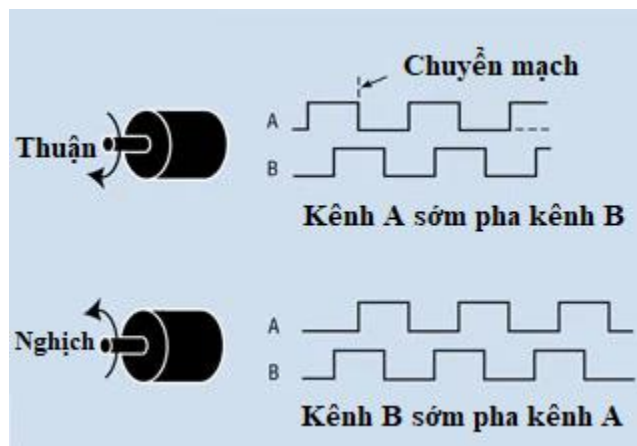
Nguyên lý hoạt động của động cơ DC xem ở bài trước: <http://kienthuctudonghoa.com/dong-co-mot-chieu/>

Mạch đọc tốc độ (encoder) bao gồm một chiếc đĩa được đục lỗ gắn với trục roto, khi động quay kéo theo đĩa quay làm thay đổi tín hiệu của các cảm biến quang. Ta thu được vị trí và tốc độ động cơ dưới dạng các xung vuông.



Nguyên lý hoạt động của encoder

Encoder của động cơ AC servo thường có hai kênh A, B lệch pha nhau 90° điện phản hồi vị trí, tốc độ, chiều quay của động cơ.



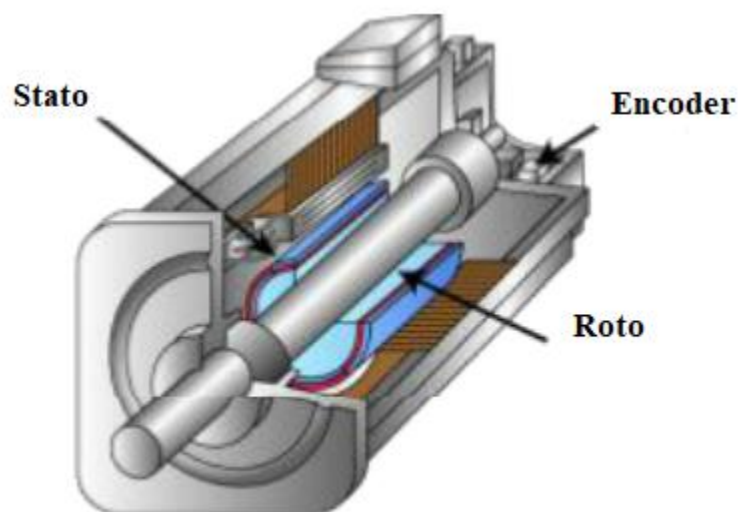
Encoder 2 kênh lệch pha nhau 90^0

2.2 Động cơ AC servo



Động cơ AC servo

Cấu tạo động cơ AC servo gồm ba phần chính: stator, roto và encoder.

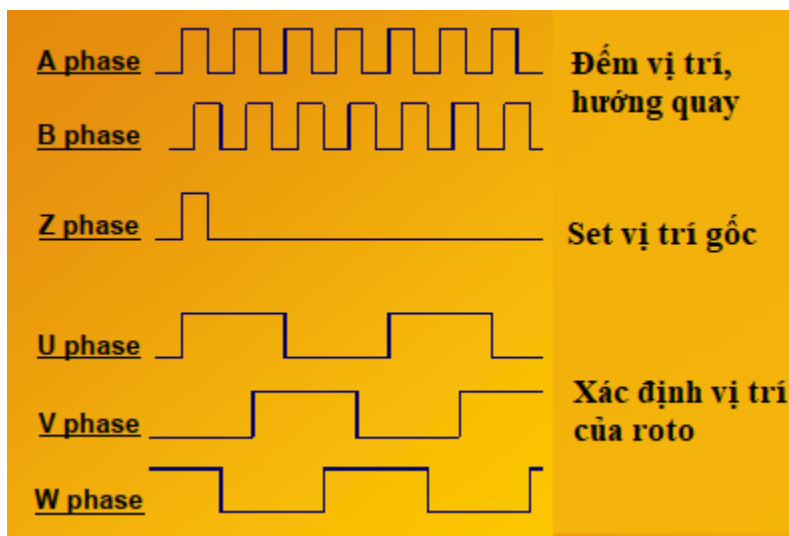


Cấu tạo động cơ AC servo

Stato bao gồm một cuộn dây cảm ứng tạo ra từ trường quay để cung cấp lực cần thiết làm quay rotor.

Roto được cấu tạo bởi nam châm vĩnh cửu (động cơ AC servo đồng bộ) hoặc dây quấn, lồng sóc (động cơ AC servo không đồng bộ).

Encoder của động cơ AC servo thường có 6 kênh như hình dưới. Giúp điều khiển chính xác tốc độ, vị trí, moment động cơ.

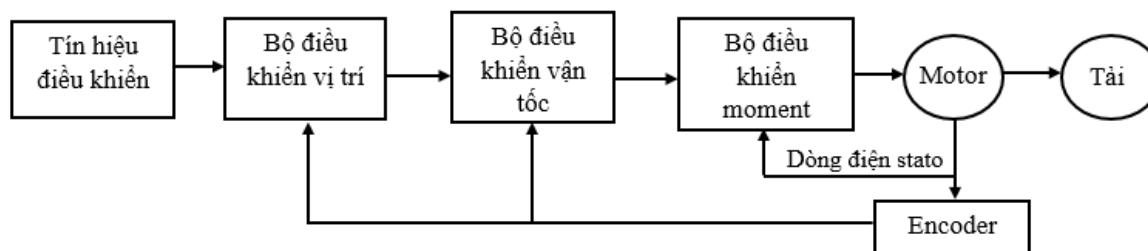


Encoder 6 kênh trên động cơ AC servo

3. Nguyên lý hoạt động

Động cơ AC servo được ứng dụng rộng rãi trong các hệ thống điều khiển vòng kín.

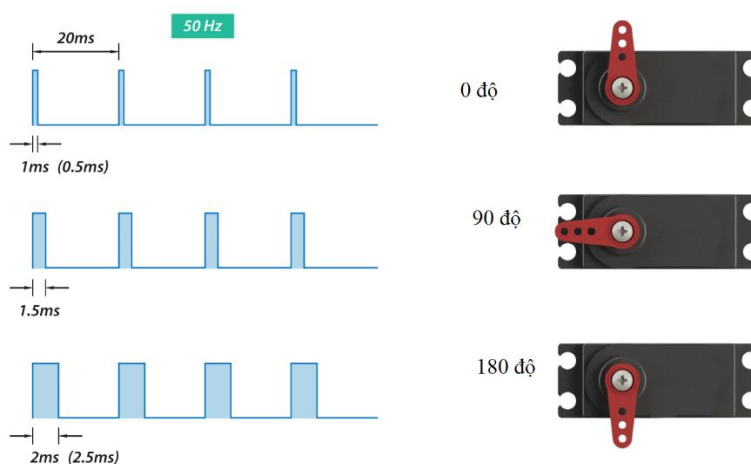
Tín hiệu điều khiển được đưa vào các bộ điều khiển là các driver động cơ servo. Bộ điều khiển xuất điện áp làm quay động cơ, tín hiệu phản hồi gửi về từ encoder sẽ xác định vị trí, tốc độ của động cơ. Động cơ sẽ quay đến tốc độ hay vị trí mong muốn.



Nguyên lý hoạt động của động cơ Servo

4. Chế độ điều khiển vòng kín của động cơ servo

4.1 Điều khiển vị trí (position loop)



Điều khiển vị trí động cơ

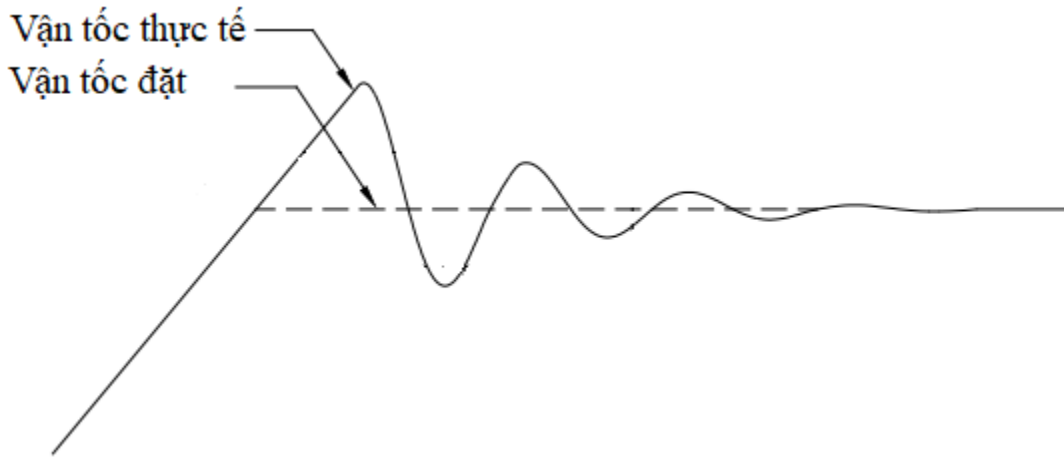
Vị trí được hiểu là vị trí góc tuyệt đối của trục động cơ servo hoặc là vị trí của thiết bị truyền động bởi động cơ servo.

Khi động cơ servo thay đổi vị trí, encoder sẽ gửi phản hồi vị trí thực tế của trục động cơ tới bộ điều khiển động cơ servo.

Mạch vòng vị trí sẽ tiến hành so sánh vị trí đặt và vị trí thực tế; từ sai số nhận được và các thông số căn chỉnh của mạch vòng, bộ điều khiển tự động điều chỉnh vị trí trục quay động cơ theo thời gian thực để triệt tiêu sai lệch vị trí.

Theo cách này, động cơ servo sẽ thực hiện chính xác theo thông số đã đặt trước ngay cả khi điều kiện vận hành thay đổi. Ví dụ như, nếu thiết bị truyền động bởi động cơ servo trở nên khó di chuyển, bộ điều khiển động cơ servo sẽ điều khiển tăng mô men sinh ra hoặc điều khiển động cơ vận hành trong khoảng thời gian lâu hơn để đạt được vị trí mong muốn bất chấp ma sát của cơ cấu truyền động.

4.2 Điều khiển tốc độ (velocity loop)



Điều khiển tốc độ động cơ

Tốc độ ở đây được hiểu là vận tốc và chiều quay của động cơ servo. Khi động cơ servo tăng tốc hoặc giảm tốc, encoder sẽ gửi vận tốc và chiều quay thực tế tới bộ điều khiển động cơ servo.

Mạch vòng tốc độ sẽ so sánh tốc độ đặt với tốc độ hiện tại; dựa vào sai số tốc độ và các thông số căn chỉnh của mạch vòng, bộ điều khiển động cơ sẽ tự động điều chỉnh vận tốc động cơ theo thời gian thực để đạt được các yêu cầu của ứng dụng.

Theo cách này, động cơ servo sẽ thực hiện đúng theo các thông số đã cài đặt ngay cả khi điều kiện vận hành thay đổi. Ví dụ như, nếu động cơ servo truyền động cho một cơ cấu có trọng lượng lớn, động cơ sẽ rất khó để giảm tốc. Trong trường hợp này, động cơ có thể tăng mô men nghịch để dừng tải trong khoảng thời gian và khoảng cách theo yêu cầu của ứng dụng.

4.3 Điều khiển moment (current loop)

Mô men của động cơ servo là lực tạo ra từ chuyển động quay của rotor động cơ.

Mô men tạo ra tỉ lệ thuận với dòng điện hiệu dụng chạy trong cuộn dây stator của động cơ. Dòng hiệu dụng càng cao, mô men sinh ra càng lớn. Mạch vòng dòng điện đôi khi được hiểu là mạch vòng mô men.

Bộ điều khiển động cơ servo đo trị số dòng hiệu dụng chạy trong cuộn dây stator và dùng phản hồi giá trị này để tự động điều chỉnh dòng điện trong động cơ theo thời gian thực nhằm đáp ứng được yêu cầu momen của ứng dụng.

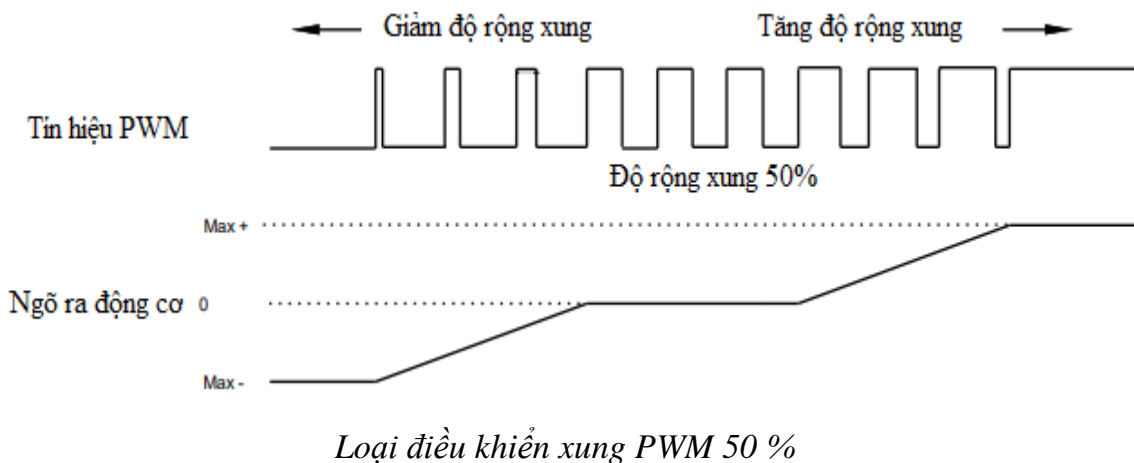
5. Các loại tín hiệu điều khiển đầu vào

Các bộ điều khiển servo hiện nay cho phép điều khiển bằng nhiều loại tín hiệu như thông qua truyền thông máy tính, điều khiển bằng điện áp analog, xung PWM, encoder 2 kênh (Quad encoder).

5.1 Xung PWM 50% (50% Duty Cycle)

Tín hiệu đầu vào là xung PWM có tần số cố định và chỉ thay đổi độ rộng của xung (thay đổi thời gian T_{ON} và T_{OFF} , $T = T_{ON} + T_{OFF}$ không đổi).

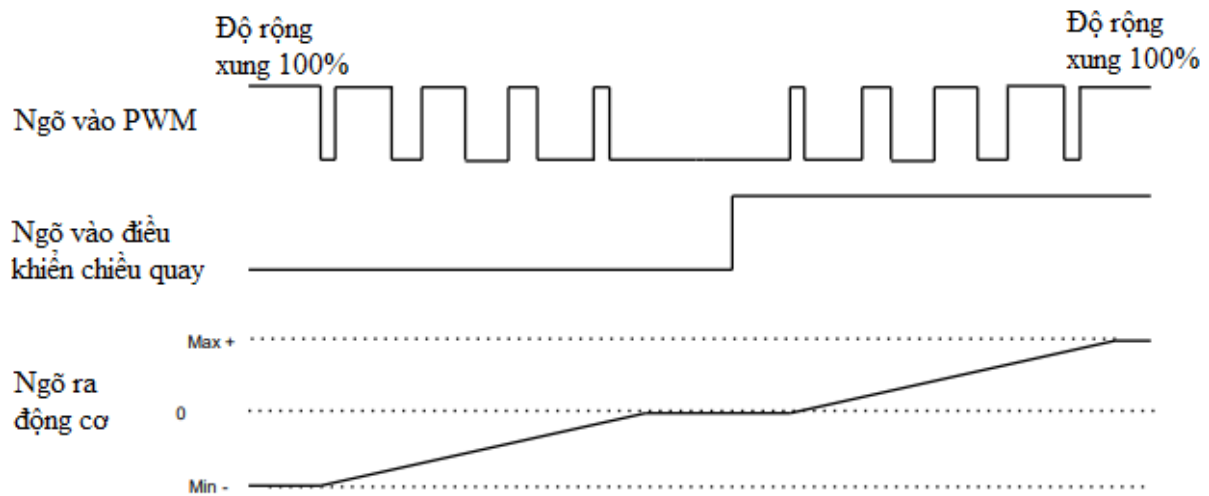
Hình bên dưới cho thấy tốc độ động cơ tăng dần khi ta tăng độ rộng xung tín hiệu. Khi độ rộng xung bằng 50% (tức $T_{ON} = T_{OFF}$) thì động cơ đổi chiều quay.



5.2 Xung PWM 100% (100% Duty Cycle)

Tín hiệu đầu vào một ngõ là xung PWM và một ngõ là mức điện áp DC điều khiển chiều quay của động cơ.

Tốc độ động cơ tăng dần khi ta tăng độ rộng xung tín hiệu từ 0 - 100% và ngược lại. Khi thay đổi mức điện áp ngõ chân điều khiển chiều quay, thì chiều quay của động cơ thay đổi.

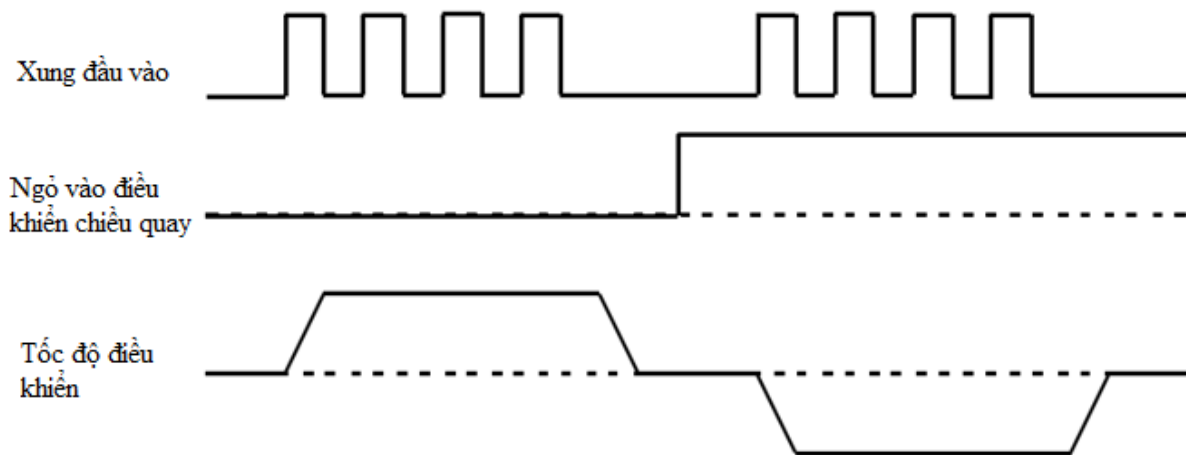


Loại điều khiển xung PWM 100 %

5.3 Xung và chiều (Pulse and Direction)

Một ngõ vào nhận tín hiệu là một chuỗi xung vuông, động cơ sẽ quay đến khi ngừng phát xung vào chân này. Tốc độ động cơ tỉ lệ thuận với tần số của chuỗi xung tín hiệu.

Một ngõ vào khác nhận mức điện áp cao hay thấp để điều khiển chiều quay.



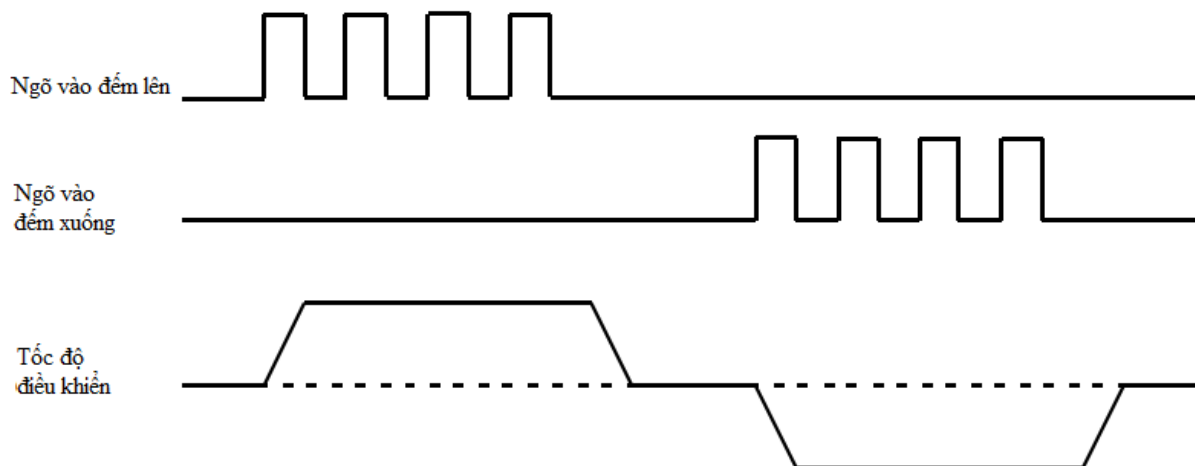
Loại điều khiển xung và chiều

5.4 Đếm lên, đếm xuống (Count Up/Count Down)

Ngõ vào đếm lên: ngõ vào nhận tín hiệu là một chuỗi xung vuông, khi có xung tín hiệu đưa vào chân này động cơ sẽ quay chiều thuận đến khi ngừng phát xung.

Ngõ vào đếm xuống: khi có xung tín hiệu đưa vào chân này động cơ sẽ quay chiều ngược đến khi ngừng phát xung.

Tốc độ động cơ sẽ tỉ lệ thuận với tần số xung tín hiệu.



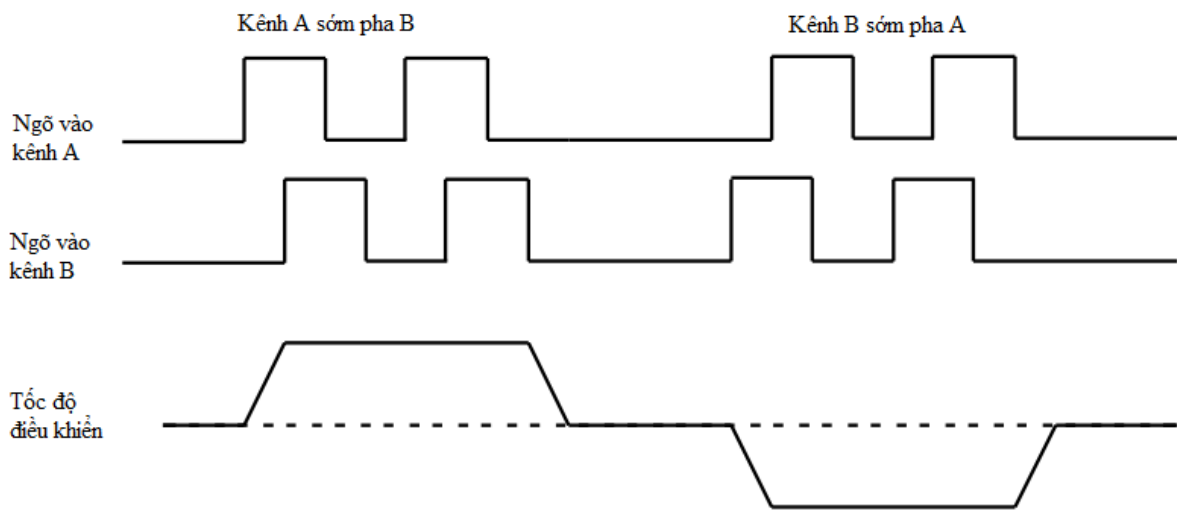
Loại điều khiển đếm lên và đếm xuống

5.5 Encoder hai kênh lệch pha nhau 90° (Quadrature)



Encoder xoay có 2 kênh A, B lệch pha nhau 90°

Hai ngõ đầu vào nhận xung tín hiệu từ hai kênh của encoder, khi quay trục encoder thì động cơ quay theo tương ứng. Tốc độ và chiều của động phụ thuộc chiều quay và tốc độ của encoder.



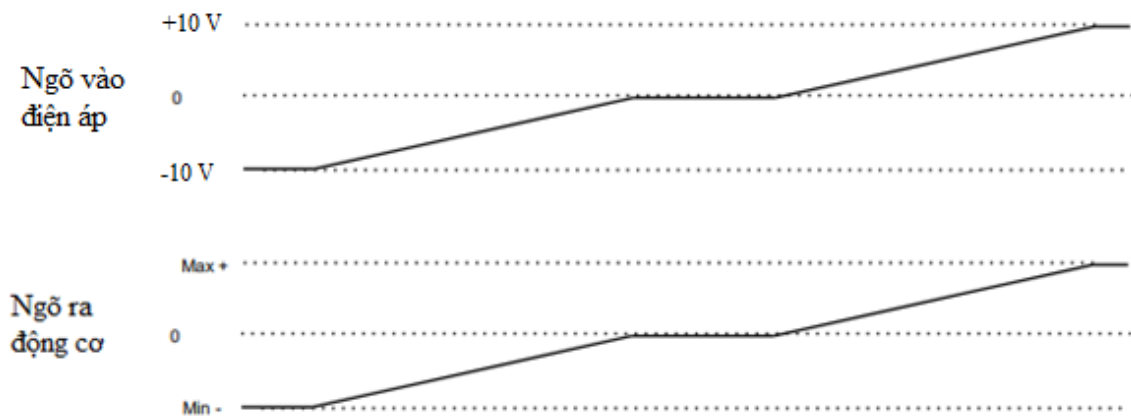
Loại điều khiển encoder 2 kênh

5.6 Điều khiển bằng điện áp (Analog command)

Khi điện áp ngõ vào tăng từ -10V đến 0V thì động cơ sẽ quay theo chiều nghịch, tốc độ động cơ giảm dần về 0.

Khi điện áp ngõ vào tăng từ 0 đến 10V thì động cơ quay theo chiều thuận, tốc độ động cơ tăng dần đến tốc độ tối đa.

Ngõ ra động cơ có thể được điều khiển ở chế độ vận tốc, hay moment.



Loại điều khiển bằng điện áp $\pm 10V$

Tài liệu tham khảo

- [1] L. V. D. Đặng Văn Đào, Kỹ thuật điện, 2003.
- [2] https://www.electronicshub.org/servo-motors/#What_are_Servo_Motors, 9/10/2020.
- [3] https://www.electronicshub.org/servo-motors/#Working_Principle_of_DC_Servo_Motor, 11/10/2020.
- [4] <https://realpars.com/servo-motor/>, 11/10/2020.
- [5] <https://aecom.vn/ho-tro/tai-lieu-ky-thuat/cong-nghe-dieu-khien-dong-co-servo-item73.html>, 12/10/2020.
- [6] Copley, "CME 2 User Guide," 1/2014.

Động cơ một chiều không chổi than (BLDC)

1. Định nghĩa

Động cơ một chiều không chổi than (Brushless DC - BLDC) là động cơ điện sử dụng cơ chế chuyển mạch bằng điện tử thay vì sử dụng chổi than và cổ góp như ở động cơ điện một chiều. Do đó động cơ BLDC khắc phục được hiện tượng tia lửa điện khi chuyển mạch ở động cơ một chiều.

Động cơ BLDC là động cơ đồng bộ, điều này có nghĩa là tốc độ roto bằng với tốc độ từ trường. Động cơ BLDC được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp tự động, ô tô, máy in, tiêu dùng, y tế và thiết bị đo đạc.



Động cơ BLDC thực tế

So sánh với động cơ điện một chiều ta đã tìm hiểu ở bài trước, động cơ BLDC có các ưu điểm:

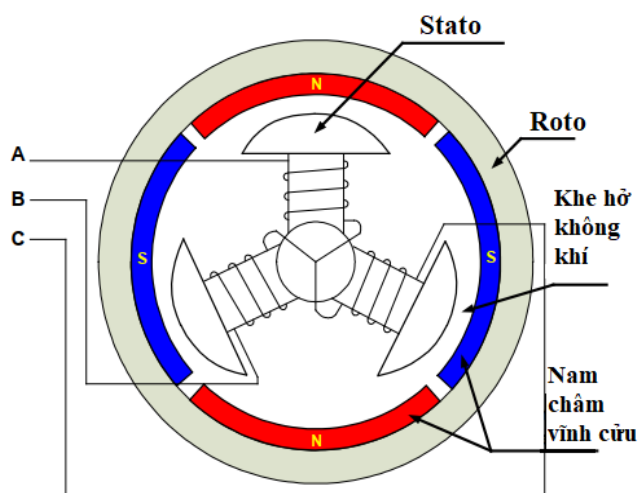
- + Hiệu quả và độ tin cậy cao hơn
- + Không gây tia lửa điện
- + Nhỏ hơn và nhẹ hơn
- + Tỷ lệ moment quán tính lớn (khả năng gia tốc nhanh)
- + Dải tốc độ cao hơn
- + Tuổi thọ cao hơn

2. Cấu tạo

Cấu tạo động cơ BLDC gồm stato, roto và cảm biến vị trí.

2.1 Stato

Phân loại động cơ BLDC theo stato có 3 loại: một pha, hai pha và ba pha. Trong đó động cơ ba pha được sử dụng rộng rãi nhất.



Cấu tạo động cơ BLDC

Stato bao gồm lõi thép là các lá thép kỹ thuật điện ghép cách điện với nhau và dây quấn.

Hình dạng suất điện động của động cơ BLDC có thể là hình sin hoặc hình thang, tùy theo cách quấn dây và khe hở không khí. Động cơ có suất điện động hình sin tạo ra moment mượt mà hơn động cơ hình thang, mặc dù chi phí cao hơn do chúng sử dụng thêm các cuộn dây đồng.

2.2 Roto

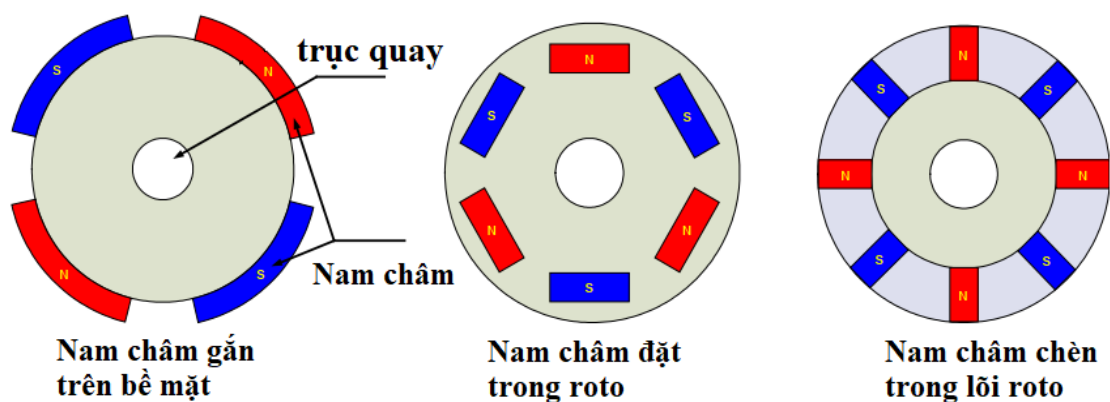
Roto bao gồm trục động cơ và các nam châm vĩnh cửu được bố trí xen kẽ giữa các cực bắc và nam.



Roto động cơ BLDC

Để đạt được mô-men xoắn cực đại trong động cơ, mật độ từ thông của vật liệu phải cao. Cần có vật liệu từ tính thích hợp cho roto để tạo ra mật độ từ trường yêu cầu.

Hình bên dưới cho thấy mặt cắt ngang của 3 loại roto theo sự sắp xếp nam châm trong roto.



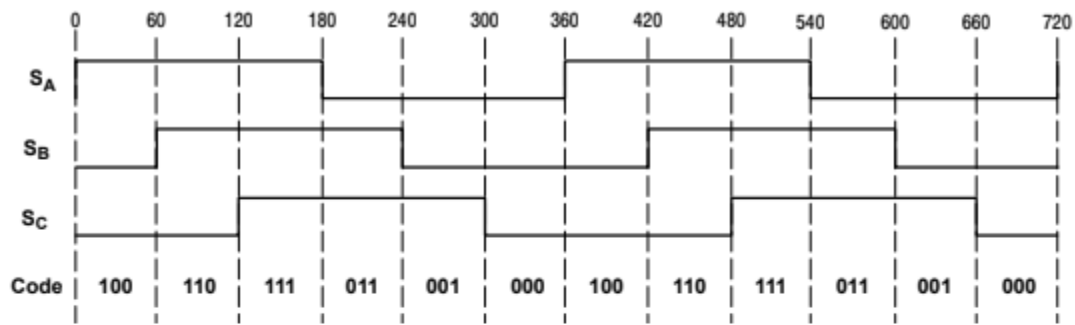
Mặt cắt ngang của các loại roto của động cơ BLDC

2.3 Cảm biến Hall

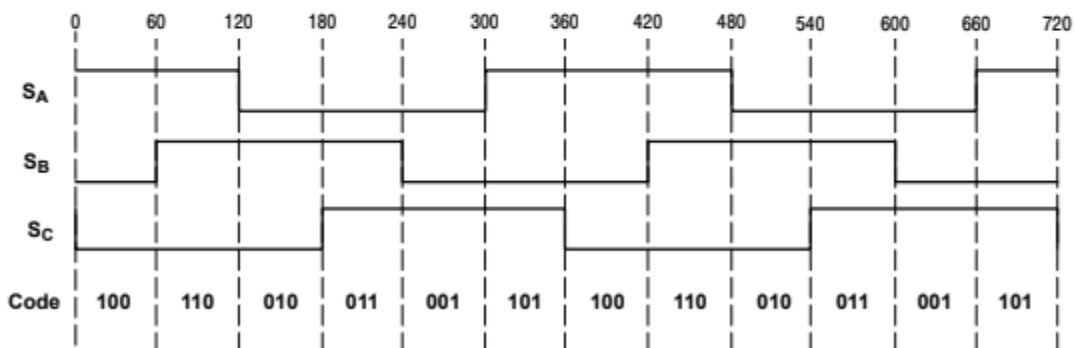


Cảm biến Hall thực tế

Động cơ BLDC sử dụng cảm biến vị trí hiệu ứng Hall (gọi tắt là cảm biến Hall). Cảm biến Hall được gắn trên stato của BLDC để phát hiện các nam châm vĩnh cửu trên roto khi quét qua nó. Các cảm biến Hall có thể được gắn để tạo tín hiệu phản hồi lệch pha nhau 60^0 hay 120^0 điện.



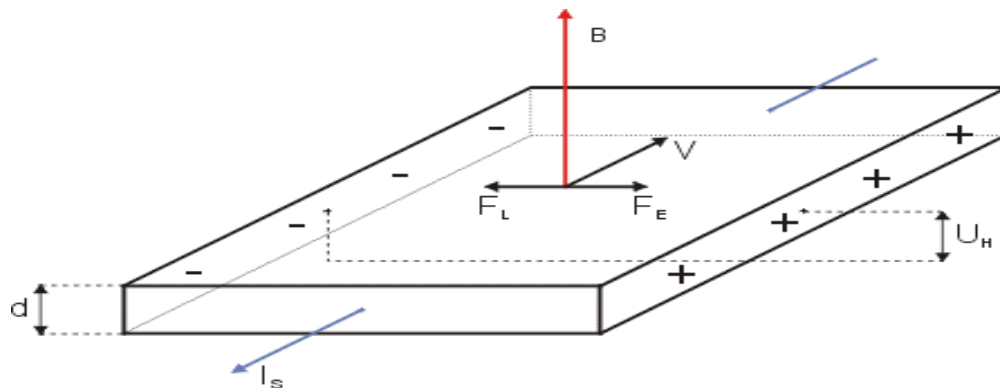
Cảm biến Hall lệch pha 60°



Cảm biến Hall lệch pha 120°

Điện áp phản hồi của các CB Hall lệch pha nhau 60° và 120°

Hiệu ứng Hall: là một hiệu ứng vật lý được thực hiện khi áp dụng một từ trường vuông góc lên một bản làm bằng kim loại hay chất bán dẫn (thanh Hall) đang có dòng điện chạy qua. Lúc đó người ta nhận được hiệu điện thế (hiệu thế Hall) sinh ra tại hai mặt đối diện của thanh Hall.

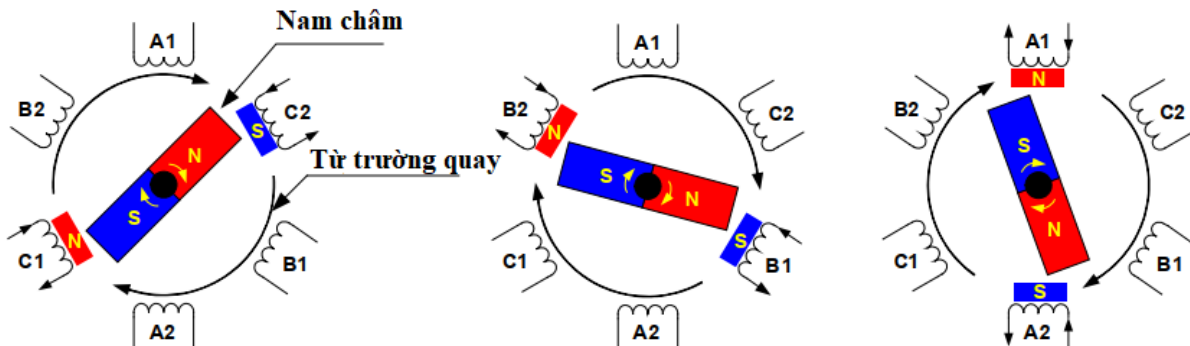


Hiệu ứng Hall

(Nguồn: https://vi.wikipedia.org/wiki/Hiệu_ứng_Hall, 18/10/2018)

3. Nguyên lý hoạt động

Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC dựa trên lực tương tác của từ trường do stato tạo ra và nam châm vĩnh cửu trên roto. Khi dòng điện chạy qua một trong ba cuộn dây stato sẽ tạo ra cực từ hút các nam châm vĩnh cửu gần nhất có cực từ trái dấu. Roto sẽ tiếp tục chuyển động nếu dòng điện dịch chuyển sang một cuộn dây liền kề. Cấp điện tuần tự cho mỗi cuộn dây sẽ làm cho roto quay theo từ trường quay.



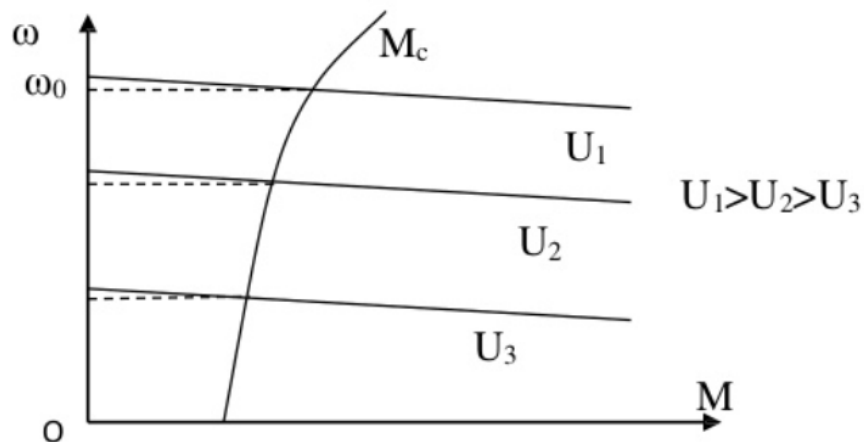
Nguyên lý hoạt động của động cơ BLDC

Trong thực tế để tăng lực tương tác người ta sẽ cấp điện cùng lúc cả hai cuộn dây, thứ tự chuyển tiếp giữa các cuộn dây được điều khiển bởi mạch điện tử.

4. Đặc tính cơ và đặc tính làm việc

4.1 Đặc tính cơ

Đồ thị đường đặc tính cơ của động cơ BLDC được vẽ như hình bên dưới.

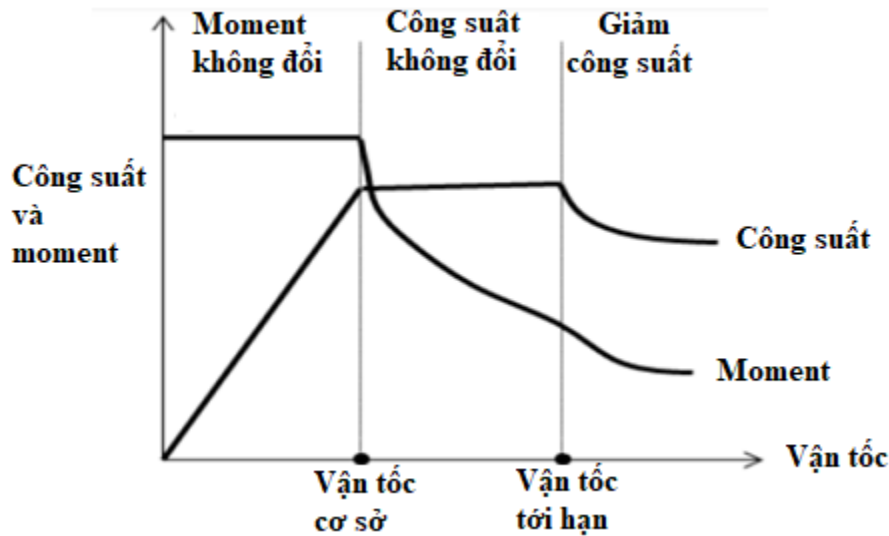


Đặc tính cơ của động cơ BLDC

Khi điện áp giảm sẽ dẫn làm giảm tốc độ động cơ. Ta nhận thấy đặc tính cơ của động cơ BLDC giống với đặc tính cơ của động cơ điện một chiều.

4.2 Đặc tính làm việc

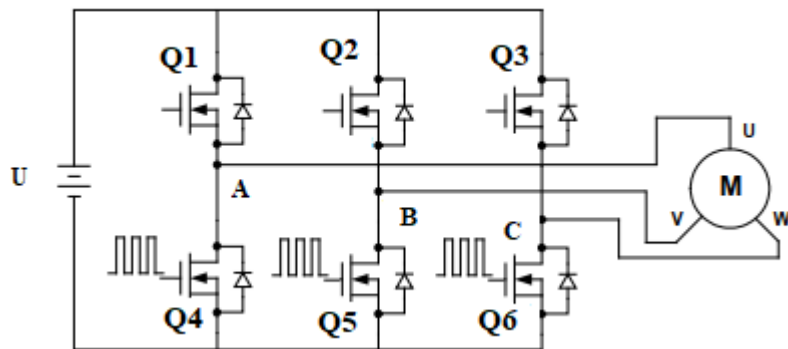
Động cơ làm việc ở hai vùng, ở tốc độ thấp moment không đổi, công suất thay đổi. Khi đạt đến vận tốc cơ sở thì công suất không đổi và moment giảm. Khi tốc độ vượt quá tốc độ giới hạn thì moment và công suất đều giảm.



Đặc tính làm việc của động cơ BLDC

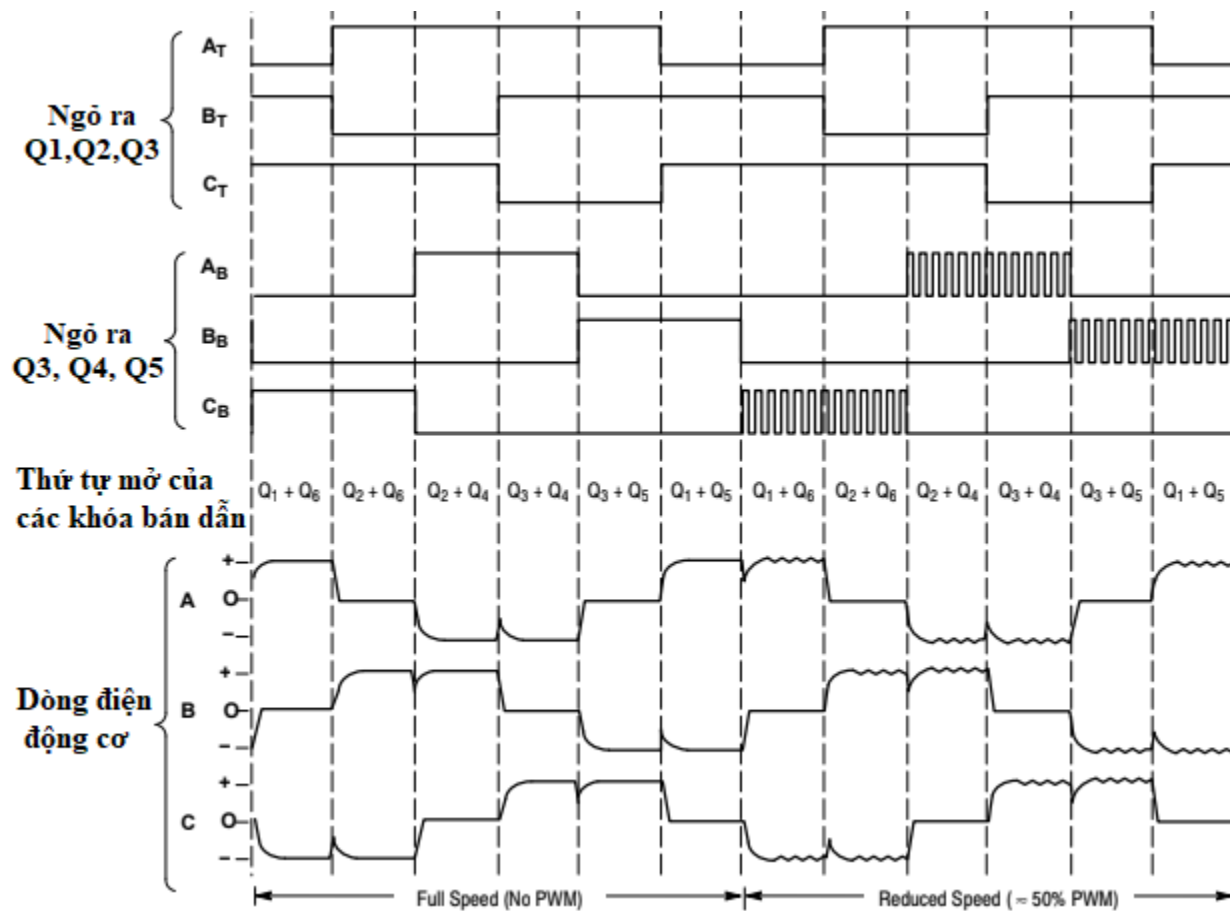
5. Điều khiển tốc độ động cơ BLDC

Nguyên lý của việc điều khiển tốc độ động cơ là sử dụng phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM). Bộ điều khiển xác định vị trí trục roto và xuất điện áp điều khiển đóng, mở các khóa bán dẫn (mosfet) cấp điện áp cho động cơ.



Sơ đồ điều khiển tốc độ động cơ DLBC

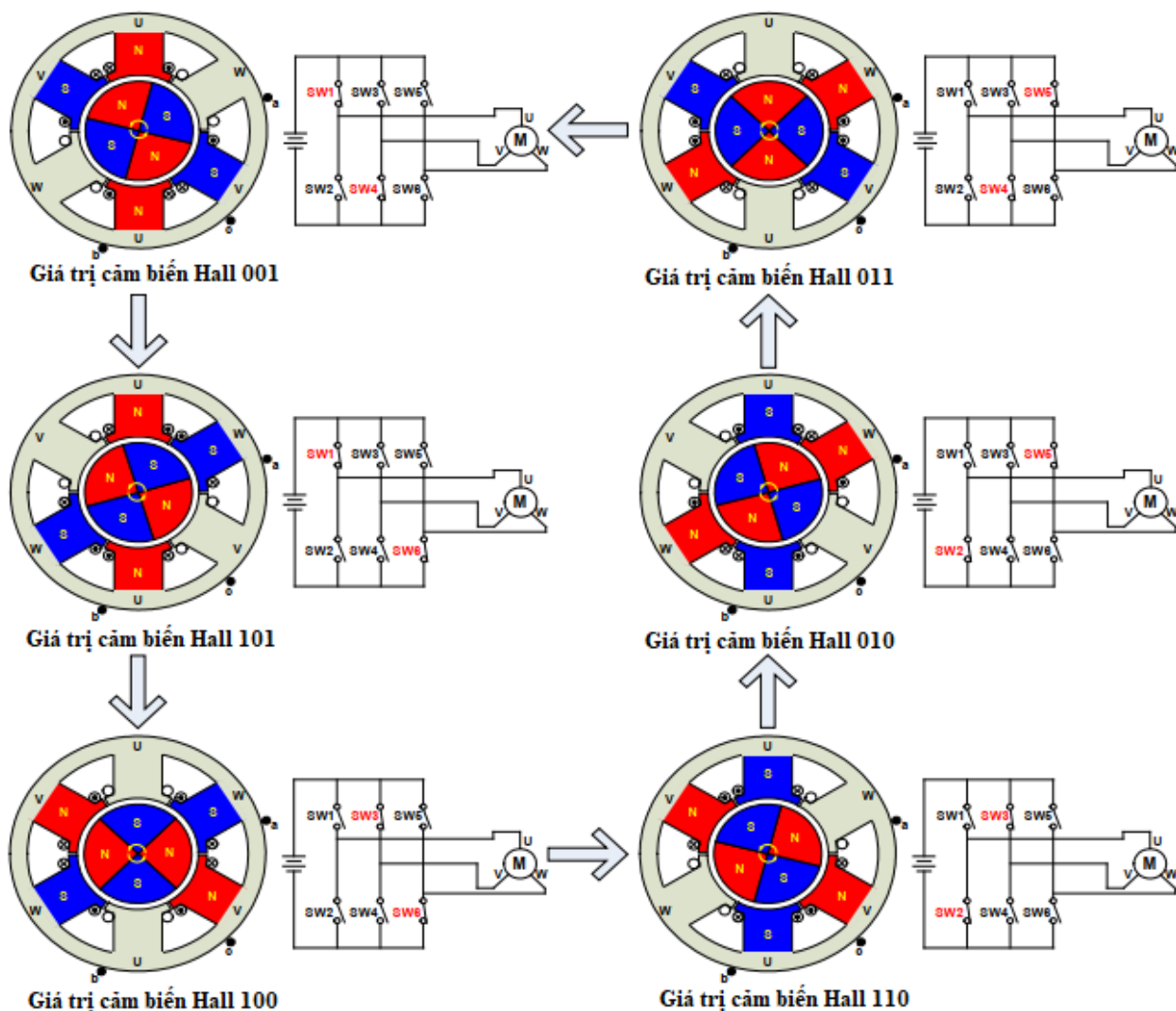
Đơn giản thì ta chỉ điều chế độ rộng xung của các khóa bán dẫn bên dưới (Q4, Q5, Q6), các khóa bán dẫn phía trên khi được kích dẫn sẽ dẫn hoàn toàn (độ rộng xung là 100%).



Điều khiển tốc độ động cơ BLDC bằng phương pháp PWM

5.1 Điều khiển tốc độ sử dụng cảm biến vị trí

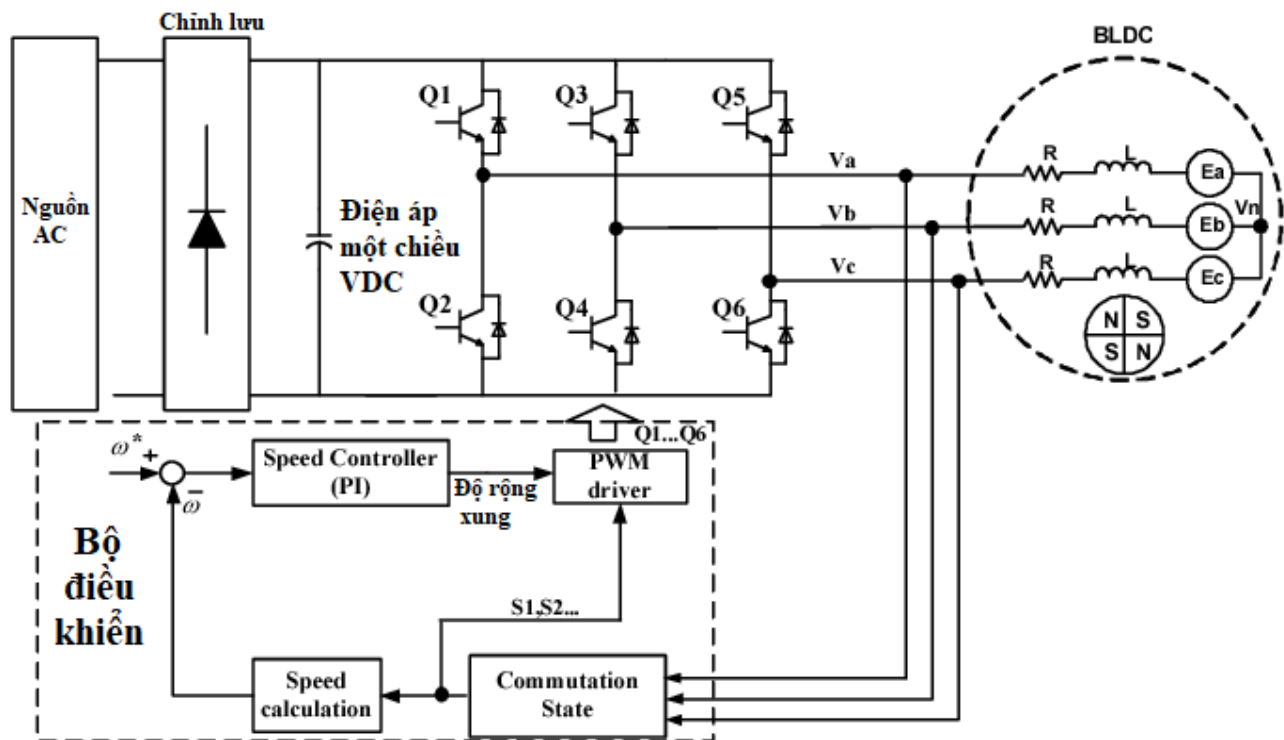
Động cơ BLDC sử dụng 3 cảm biến Hall để xác định vị trí trục roto. Hình bên dưới mô tả chu kỳ chuyển mạch của các khóa bán dẫn ứng với các giá trị cảm biến Hall. Trong ví dụ này sử dụng các cảm biến Hall lệch pha nhau 120° điện.



Điều khiển tốc độ động cơ BLDC sử dụng CB Hall

5.2 Điều khiển tốc độ không sử dụng cảm biến

Sensorless Bldc Motor Control là phương pháp sử dụng từ thông roto để điều khiển các khóa đóng cắt thay cho các cảm biến Hall. Cơ sở chính của điều khiển không cảm biến là dựa vào thời điểm qua zero của sức điện động cảm ứng trên các pha của động cơ. Phương pháp này áp dụng với động cơ BLDC có điện áp hình thang.



Điều khiển tốc độ động cơ BLDC không sử dụng cảm biến

Về cơ bản có hai kỹ thuật điều khiển không cảm biến:

- + Xác định vị trí roto dựa vào sức điện động của động cơ, phương pháp này đơn giản, dễ thực hiện và giá thành rẻ.
- + Ước lượng vị trí dùng các thông số động cơ, các giá trị điện áp và dòng điện trên động cơ. Phương pháp này tính toán phức tạp, khó điều khiển, giá thành lại cao.

Tài liệu tham khảo

- [1] J. Zhao, "Brushless DC Motor Fundamentals," 7/2011.
- [2] P. V. Cường, in *Hệ thống hãm máy phát xe điện bằng động cơ BLDC*, 2018.
- [3] O. Semiconductor, "Brushless DC motor controller MC 33035," 2014.

Động cơ bước

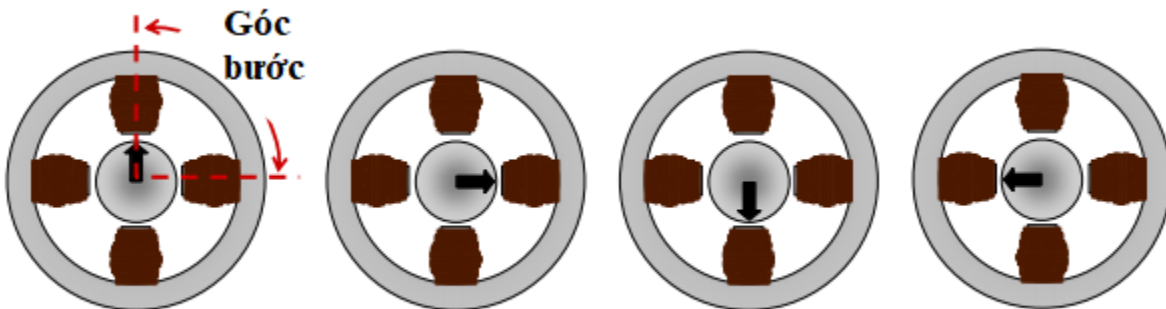
1. Định nghĩa

Động cơ bước (stepper motor) là một động cơ đồng bộ dùng để biến đổi các tín hiệu điều khiển dưới dạng các chuỗi xung điện thành các chuyển động góc quay.



Động cơ bước thực tế

Mỗi bước được định nghĩa bởi góc bước, ví dụ bên dưới cho thấy động cơ có góc bước 90° vì cần thực hiện 4 bước để quay được một vòng. Tùy thuộc vào cấu hình động cơ bước, góc bước thay đổi, ví dụ: $0,72^\circ$, $1,8^\circ$, $3,75^\circ$, $7,5^\circ$, 15° , ...



Vị trí bắt đầu

Góc bước

2. Cấu tạo

Tương tự như ở động cơ một chiều, cấu tạo động cơ bước bao gồm stato và roto.



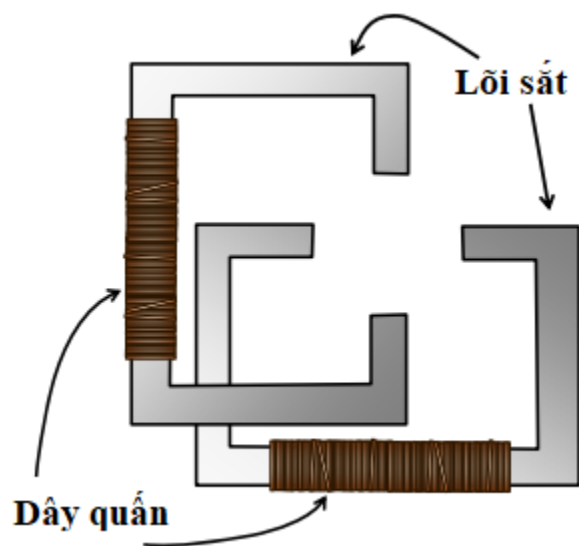
Stato

Roto

Cấu tạo động cơ bước

2.1 Stato

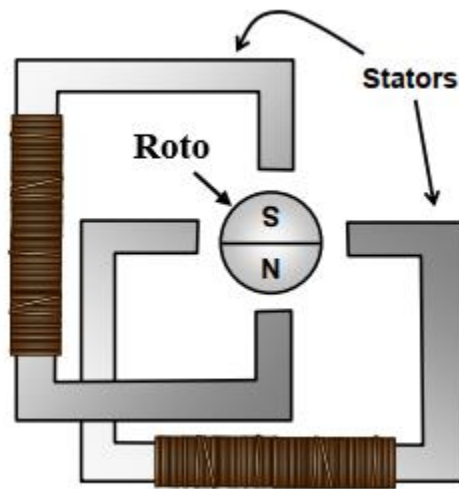
Stato được làm bằng sắt từ được chia thành các rãnh để đặt cuộn dây.



Stato động cơ bước

2.2 Roto

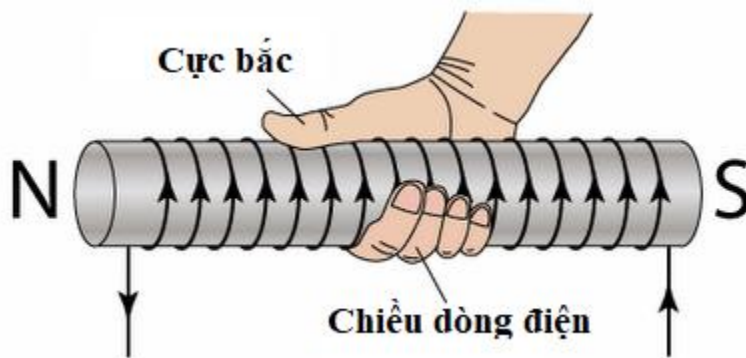
Rotor được cấu tạo từ dây quấn hay một dãy các lá nam châm vĩnh cửu được xếp chồng lên nhau. Trên các lá nam châm này lại chia thành các cặp cực xếp đối xứng nhau.



Roto động cơ bước

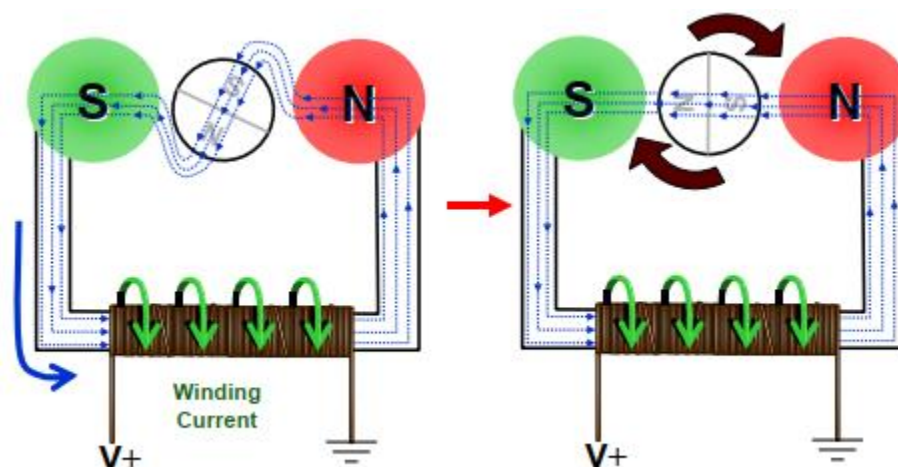
3. Nguyên lý làm việc

Ta nhắc lại **quy tắc bàn tay phải**: Nắm bàn tay phải, rồi đặt sao cho bốn ngón tay hướng theo chiều dòng điện chạy qua các vòng dây thì ngón tay cái choãi ra chỉ chiều của đường sức từ trong lòng ống dây.



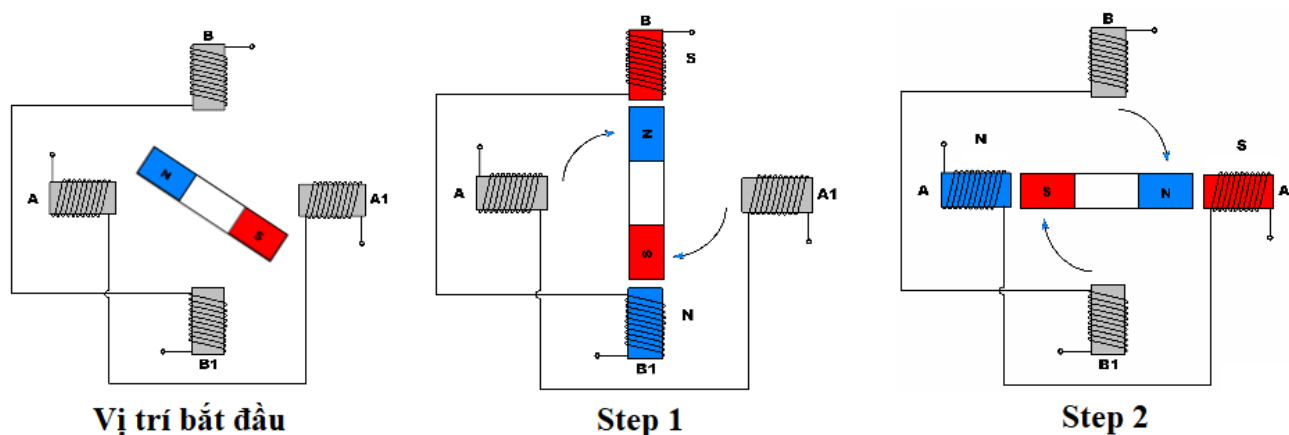
Quy tắc bàn tay phải

Nguyên lý hoạt động của động cơ bước: Khi cấp điện vào cuộn dây của stato, cuộn dây sẽ đóng vai trò là một nam châm điện gây ra lực tác động làm quay roto.



Lực tương tác giữa stato và roto

Khi thay đổi thứ tự cấp điện cho các cuộn dây của stato sẽ làm thay đổi trình tự quay của roto. Việc thay đổi thứ tự chuyển mạch sẽ nhờ vào mạch điện tử.



Nguyên lý hoạt động của động cơ bước

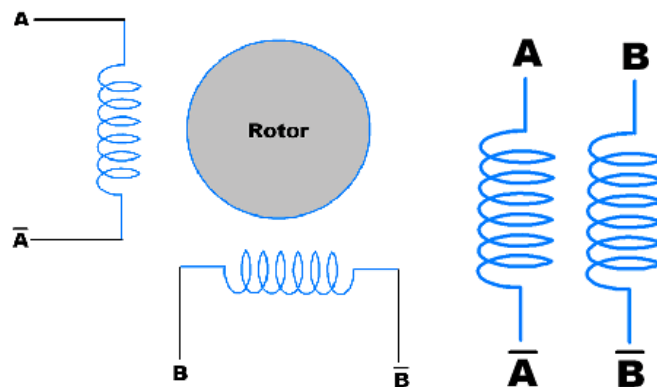
4. Phân loại

Động cơ bước được phân loại tùy thuộc vào cấu tạo và cách bố trí cuộn dây.

4.1 Phân loại theo cách bố trí cuộn dây

a. Động cơ bước lưỡng cực

Động cơ bước lưỡng cực có động cơ có cấu tạo gồm hai cuộn dây riêng biệt.



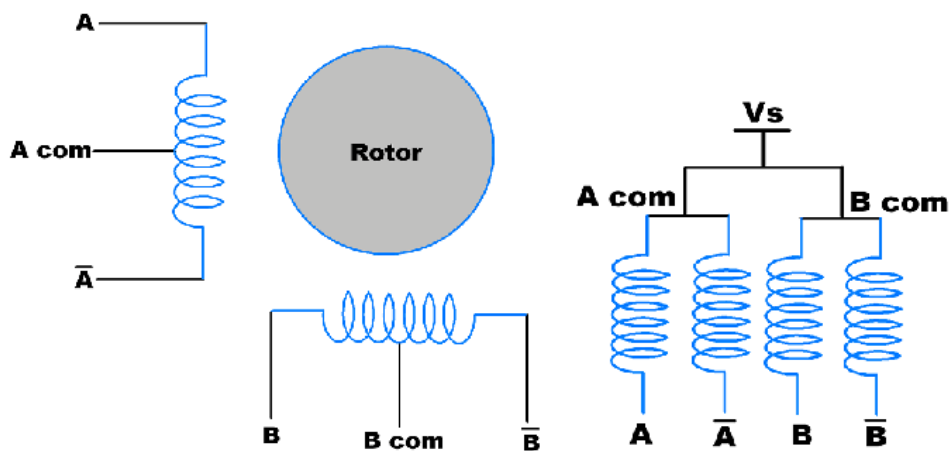
Động cơ bước lưỡng cực

Động cơ loại này có đặc điểm là:

- + Dòng điện chạy qua toàn bộ cuộn dây
- + Cần đổi chiều điện áp để đổi hướng dòng điện qua cuộn dây, từ đó thay đổi cực từ của cuộn dây đó.

b. Động cơ bước đơn cực

Động cơ bước đơn cực có thêm một đầu nối chung ở giữa cuộn dây.



Động cơ bước đơn cực

Động cơ có thể có đưa ra 5 hoặc 6 đầu dây tùy theo các đầu dây. Động cơ loại này có đặc điểm:

+ Mỗi cuộn dây được phân chia tức là dòng điện chạy qua một nửa cuộn dây. Do đó động cơ bước đơn cực có mô-men xoắn nhỏ hơn động cơ bước lưỡng cực.

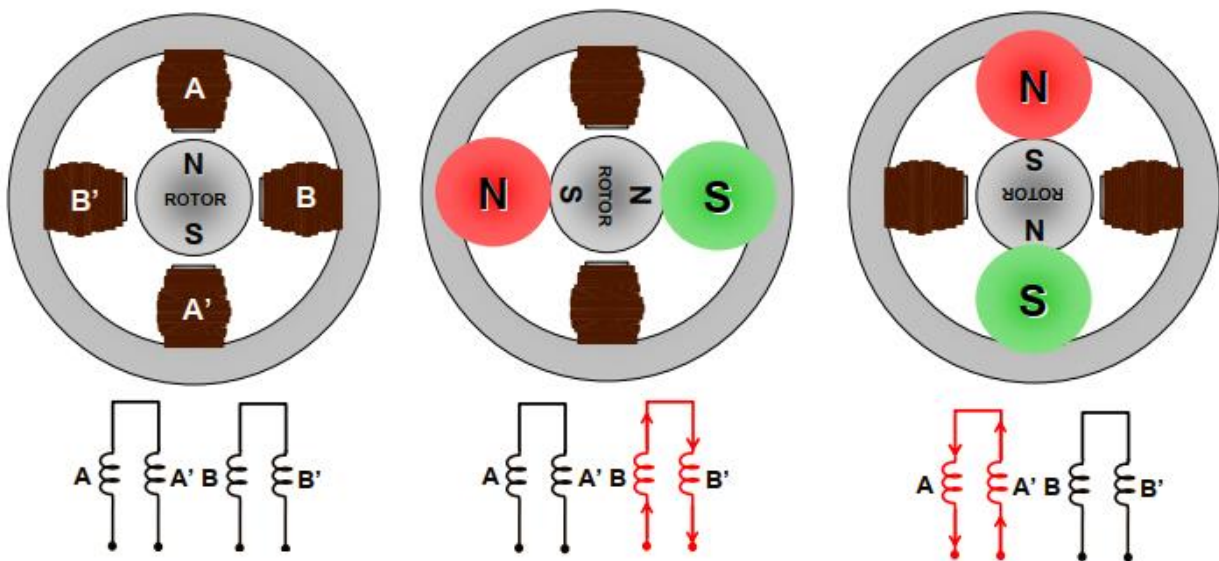
+ Điểm chung sẽ được nối với nguồn điện, các đầu cực được nối với cực kia của nguồn điện để cho phép dòng điện chạy qua mỗi nửa cuộn dây. Bằng cách thay đổi thứ tự cấp điện ở các đầu dây sẽ làm thay đổi cực từ.

4.2 Phân loại theo cấu tạo roto

a. Động cơ bước nam châm vĩnh cửu

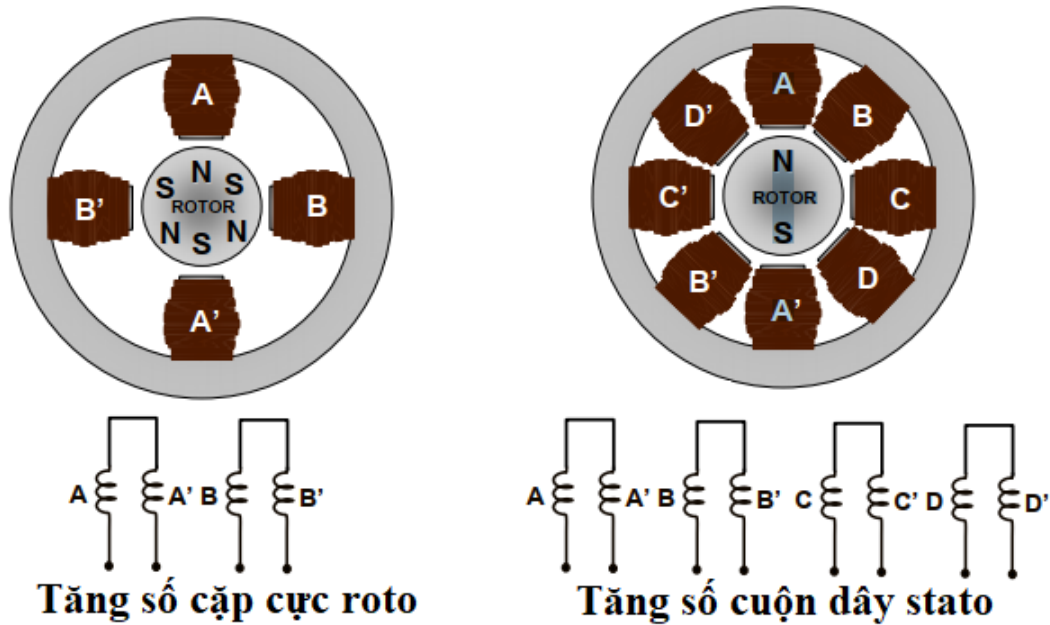
Động cơ bước nam châm vĩnh cửu có roto là nam châm vĩnh cửu, stato có nhiều răng trên mỗi răng có quấn các vòng dây. Các cuộn dây pha có cực tính khác nhau.

Nguyên lý của động cơ bước nam châm vĩnh cửu: Cấp nguồn cho stato, cuộn dây stato được cung cấp năng lượng và tạo ra từ cực bắc và nam. Điều này làm cho roto quay và thẳng hàng với các cực được cung cấp năng lượng. Bây giờ bằng cách cung cấp năng lượng cho cuộn dây tiếp theo roto sẽ quay tiếp.



Nguyên lý của động cơ bước nam châm vĩnh cửu

Để tăng độ phân giải hay giảm góc bước ta có thể tăng số cặp cực roto hay tăng số cuộn dây pha ở stato.

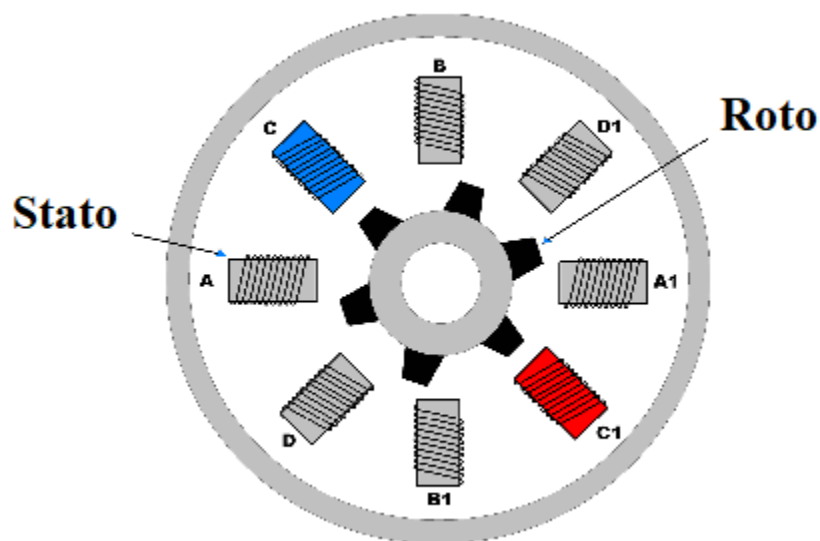


Tăng độ phân giải động cơ bước

b. Động cơ bước biến đổi từ trở

Cấu tạo động cơ bước biến đổi từ trở bao gồm một stato dây quấn và một rôto bằng lá sắt mềm. Cấu tạo của stato cũng có các cuộn pha đối xứng nhau như ở động cơ nam châm vĩnh cửu.

Roto của động cơ được cấu tạo từ thép non có khả năng dẫn từ cao, do đó khi động cơ mất điện roto vẫn tiếp tục quay tự do rồi mới dừng hẳn.



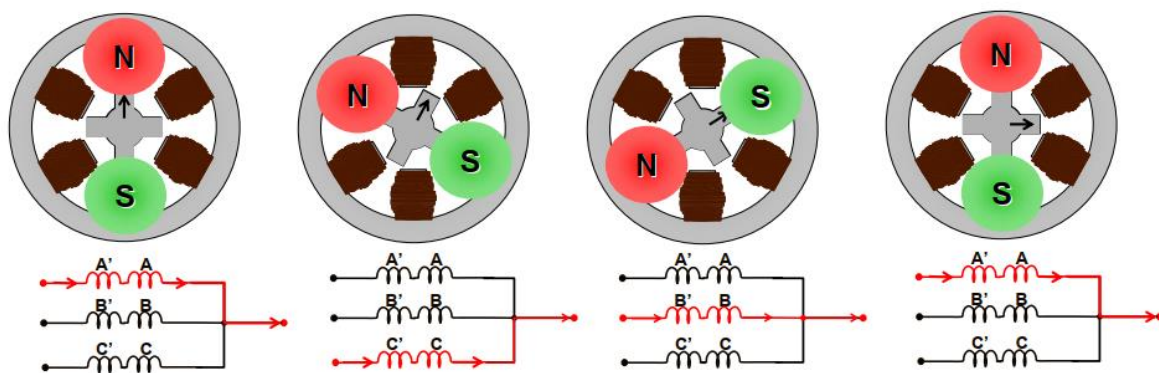
Động cơ bước biến đổi từ trở

Nguyên lý động cơ bước biến đổi từ trở:

+ Khi cấp nguồn cho cuộn dây stato, nó sẽ tạo ra từ trường của nó và khuếch tán các cực từ của chính nó.

+ Do từ tính còn lại trong các cực nam châm của roto, nó sẽ làm cho roto di chuyển ở vị trí như vậy để đạt được vị trí tối thiểu và do đó một bộ cực của roto thẳng hàng với bộ cực của stato.

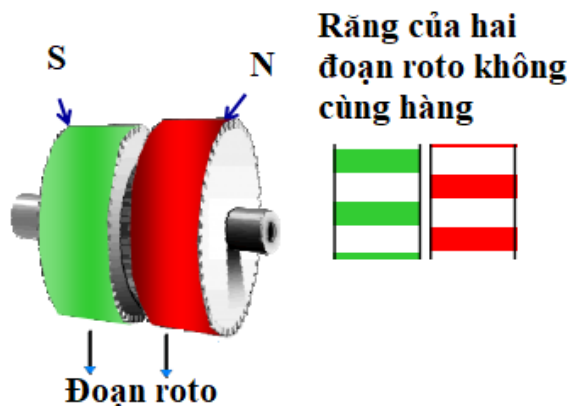
+ Cấp nguồn cho cuộn dây tiếp theo, lúc này từ trở trong động cơ lớn. Moment từ tác động lên trục roto làm cho roto quay để giảm thiểu từ trở của đường từ thông. Roto quay đến khi từ trở nhỏ nhất và khi moment bằng không thì trục động cơ dừng, roto đạt đến vị trí cân bằng mới.



Nguyên lý động cơ bước biến đổi từ trở

c. Động cơ bước lai

Động cơ bước lai sự kết hợp của nam châm vĩnh cửu và động cơ bước biến trở. Nam châm vĩnh cửu được sử dụng bên trong roto và lõi sắt bên ngoài roto, răng của 2 đoạn roto được đặt lệch, bù cho nhau. Nam châm vĩnh cửu tạo thành các cực Bắc và Nam trên roto.

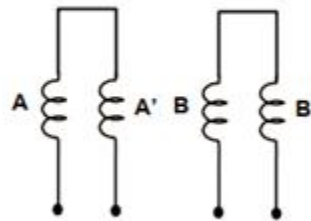


Roto động cơ bước lai

Mỗi cuộn dây ở động cơ khi được cấp điện sẽ cung cấp năng lượng cho 4 cực stato. Đoạn roto **cực bắc có quy ước màu đỏ** và đoạn roto **cực nam có màu xanh**.



Mặt trước

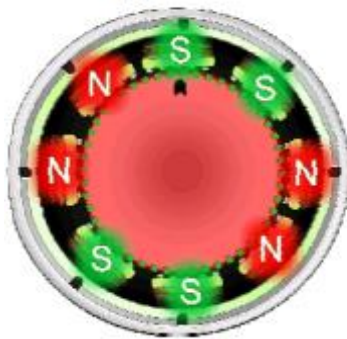


Mỗi cuộn dây sẽ hình thành 4 cực stato

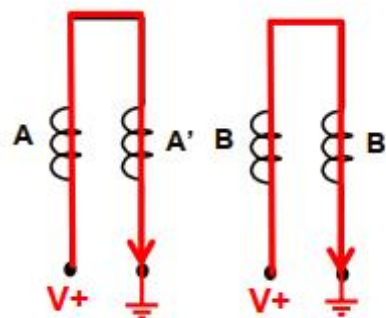
Nguyên lý hoạt động của động cơ bước lai:

Đặt điện áp vào mỗi cuộn dây, chiều dòng điện sẽ quyết định cực tính của mỗi cực stato.

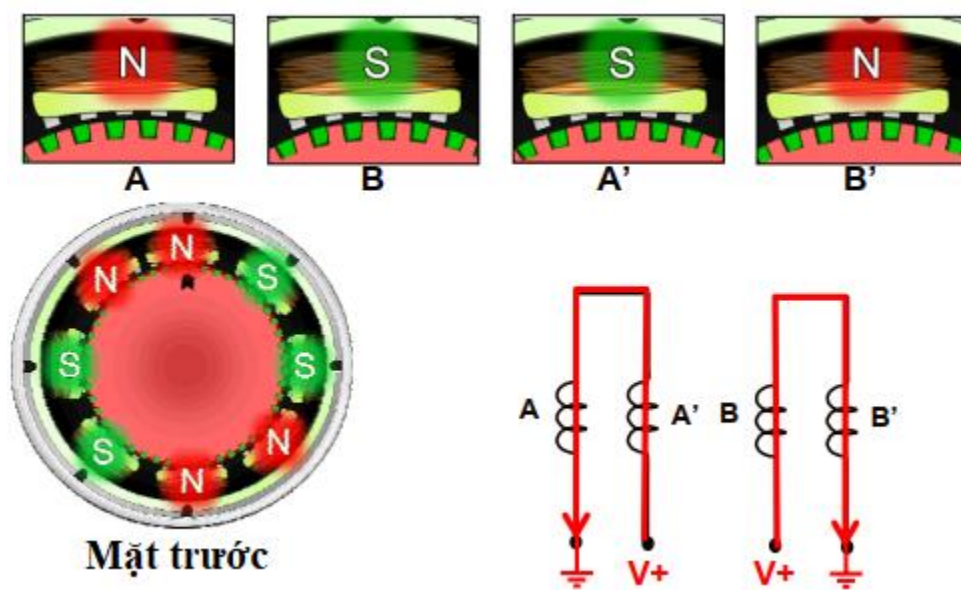
Trong hình bên dưới các cực A và A' của stato được căn chỉnh hoàn hảo với một trong các răng của đoạn roto. Mặt khác, các cực B và B' của stato thực sự nằm giữa hai răng của đoạn roto.



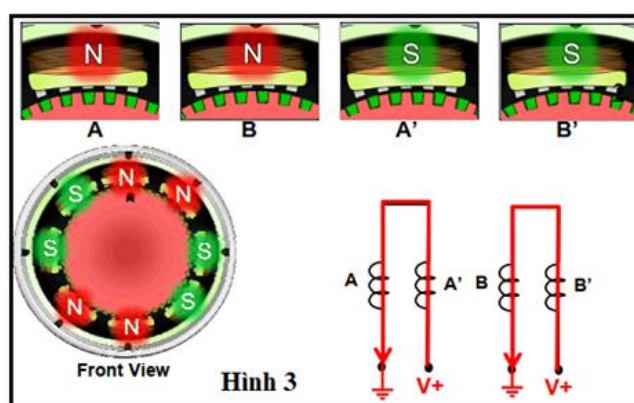
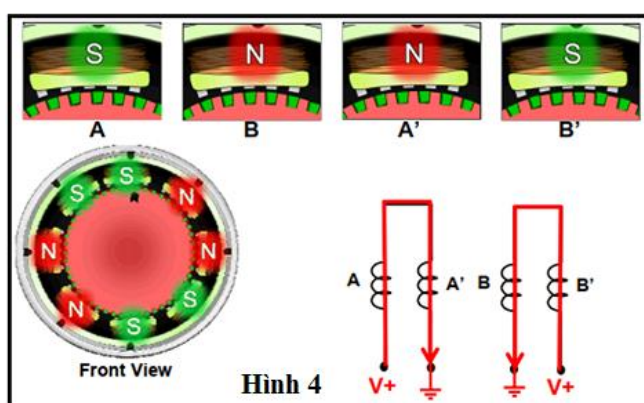
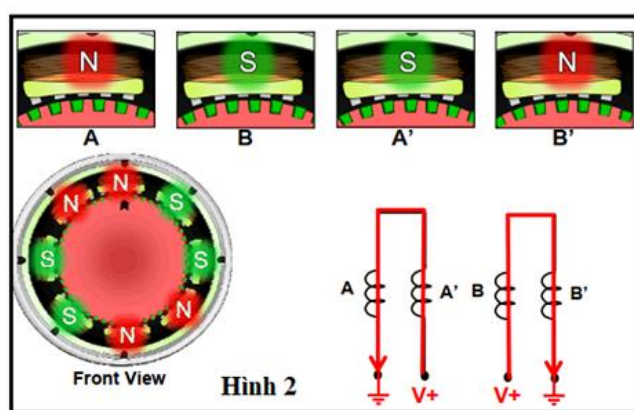
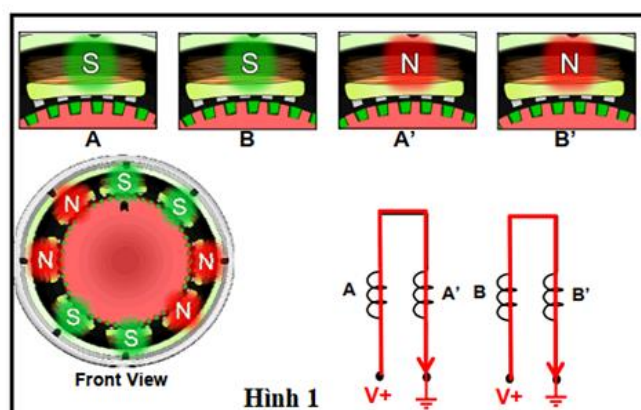
Mặt trước



Tiếp theo ta đổi chiều dòng điện cuộn dây A. Bây giờ các cực A và A' của stato nằm giữa hai răng của đoạn roto. Trong khi đó các cực B và B' thẳng hàng với các răng của đoạn roto.



Bây giờ ta nhìn lại toàn bộ quy trình 4 bước khi thay đổi lần lượt thứ tự cấp điện cho stato.



Quy trình cấp điện ở động cơ bước lại

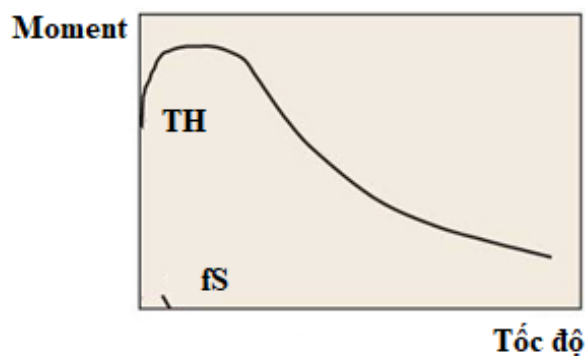
Như vậy roto đã quay một góc rất nhỏ nhờ cấu tạo của động cơ bước lai. Đây là một cải tiến về độ phân giải (góc bước) đáng kể so với động cơ nam châm vĩnh cửu cơ bản mà chúng ta đã xem xét trước đây.

Động cơ bước lai có mô-men xoắn cao hơn và có thể đạt được kích thước bước nhỏ hơn.

5. Đặc tính cơ bản của động cơ bước

5.1 Đặc tính động

Đặc tính tốc độ - moment: được xác định bởi động cơ và bộ điều khiển, và bị ảnh hưởng rất nhiều bởi loại điều khiển được sử dụng.



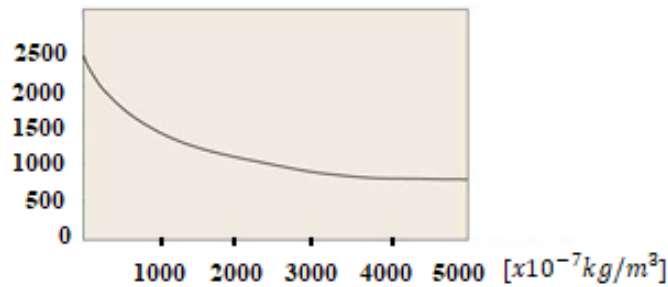
Đặc tính moment – tốc độ

+ Moment giữ lớn nhất (Maximum holding torque - **TH**) là moment xoắn cần thiết để động cơ chuyển động hết một bước khi các cuộn dây được cấp điện khi động cơ không quay.

+ Tần số bắt đầu lớn nhất (Maximum starting frequency - **fS**) là tốc độ xung lớn nhất tại đó động cơ có thể quay hay dừng lập tức khi ma sát và tải quán tính của động cơ bằng không. Điều khiển động cơ ở tốc độ vượt quá tốc độ này sẽ yêu cầu thời gian tăng hoặc giảm tốc. Tần số này sẽ giảm khi tải quán tính được thêm vào động cơ.

Đặc tính tải quán tính và tần số bắt đầu: cho thấy tần số khởi động cho phép sẽ giảm khi tải quán tính tăng. Các giá trị này thay đổi theo tốc độ xung, nhưng động cơ không thể tuân theo tốc độ xung vượt quá một điểm nhất định, vì sẽ dẫn đến sai bước.

Tần số bắt đầu lớn nhất

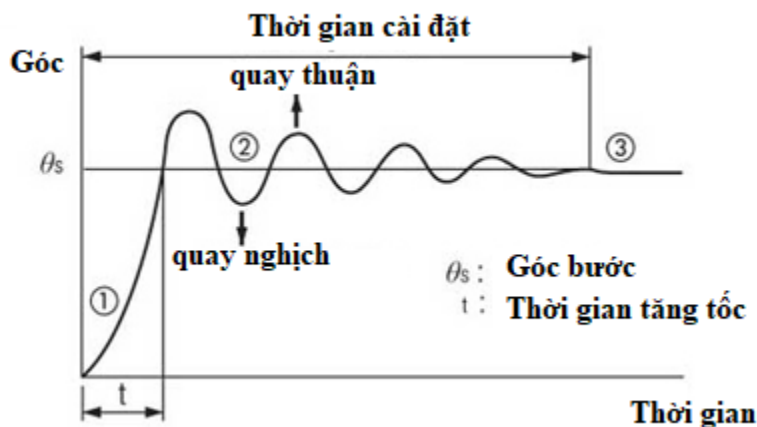


Tải quán tính

Đặc tính tải quán tính – tần số khởi động

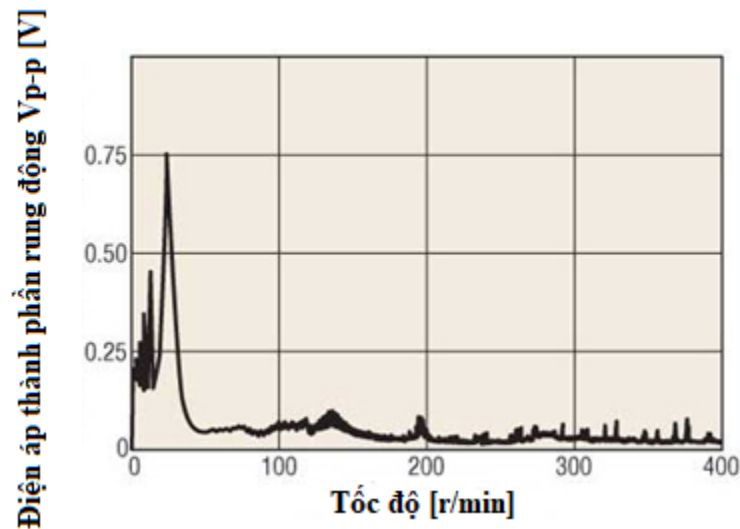
Đặc tính độ rung: Khi động cơ bước quay thực tế là thực hiện một loạt các bước có phản hồi, mỗi bước được mô tả gồm các giai đoạn như sau:

- + Khi có một xung đầu vào, động cơ sẽ quay đến vị trí tiếp theo.
- + Động cơ được tăng tốc quay qua vị trí dừng, vượt quá một góc nhất định và sẽ bị kéo ngược lại.
- + Động cơ dừng lại ở vị trí dừng đã định sau một dao động tắt dần.



Độ rung động

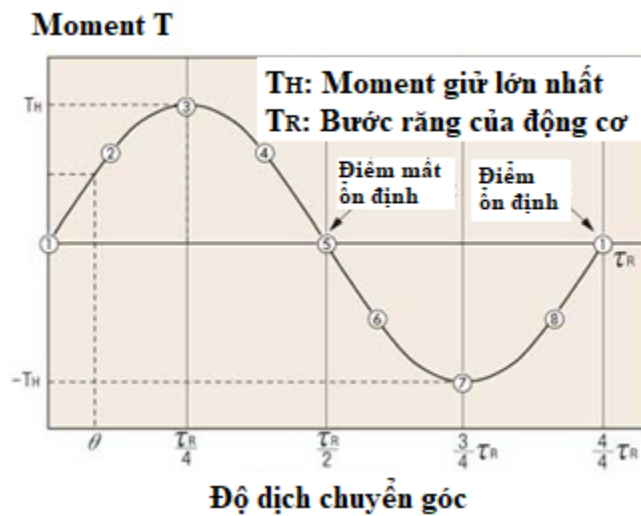
Đồ thị dưới đây biểu diễn độ lớn dao động của động cơ đang quay. Mức độ rung động càng thấp thì động cơ quay càng mượt.



Mức độ dao động theo tốc độ

5.2 Đặc tính tĩnh:

Đặc tính moment và góc: mối quan hệ giữa độ dịch chuyển góc của roto và moment lực tác dụng lên trục động cơ khi động cơ được kích thích ở dòng điện định mức.

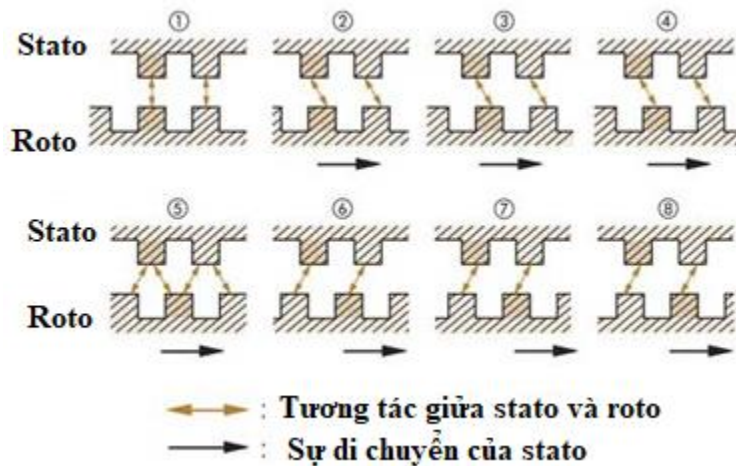


Đặc tính moment – góc

+ Điểm ổn định: Các điểm tại đó roto dừng, với các răng stato và roto được căn chỉnh chính xác. Các điểm này cực kỳ ổn định, và roto sẽ luôn dừng ở đó nếu không có ngoại lực tác dụng.

+ Điểm không ổn định: Các điểm mà răng stato và roto lệch nhau một nửa bước. Khi roto tại những điểm này sẽ di chuyển đến điểm ổn định tiếp theo sang trái hoặc phải, ngay cả khi chịu một tác động ngoại lực nhỏ nhất.

Các hình minh họa sau đây cho thấy mối quan hệ vị trí giữa răng roto và stato tại các điểm được đánh số trong sơ đồ trên.

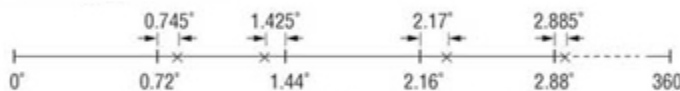


Vị trí giữa stato và roto ứng với các góc dịch chuyển

Độ chính xác góc: Trong điều kiện không tải, động cơ có độ chính xác góc trong khoảng $0,05^\circ$. Độ chính xác góc của động cơ bước được biểu thị bằng độ chính xác vị trí dừng.

Độ chính xác vị trí dừng: thể hiện sự khác biệt giữa vị trí dừng mong muốn và vị trí thực tế.

I : Vị trí dừng thực tế

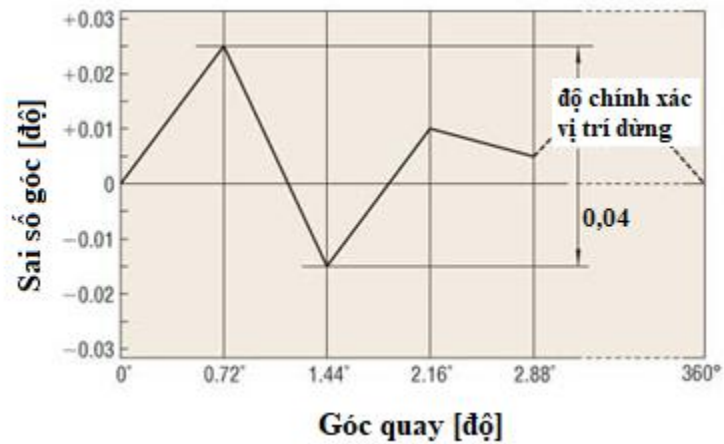


x : Vị trí dừng mong muốn

Độ chính xác góc

Trong điều kiện thực tế động cơ luôn có ma sát. Độ chính xác góc trong những trường hợp như vậy được tạo ra bởi sự dịch chuyển góc gây ra bởi đặc tính góc - moment, dựa trên tải trọng ma sát. Nếu tải trọng ma sát không đổi, góc dịch chuyển sẽ không đổi đối với hoạt động một chiều.

Tuy nhiên, trong hoạt động hai chiều, sai số góc có thể tăng gấp đôi. Khi yêu cầu dừng cao, luôn luôn định vị theo cùng hướng.



Độ chính xác góc khi động cơ quay hai chiều

Tài Liệu Tham Khảo

- [1] <https://www.electronicwings.com/sensors-modules/stepper-motor>, 23/10/2020.
- [2] M. McComb, "Introduction to Stepper Motors.pdf".
- [3] <https://www.orientalmotor.com/stepper-motors/technology/stepper-motor-overview.html>, 25/10/2020.